前 言

升空飞行乃至遨游太空，是人类千百年来的伟大理想。这个理想在科学技术极不发达的古代，只能是可望而不可及的愿望。对飞行的渴望深深地植根于古代人的心中，它日积月累，并广为流传，逐渐变成一个个美妙动人的幻想故事。中国、希腊、阿拉伯地区古代流传下来许许多多这样的故事。而家喻户晓、一直为众人津津乐道的是嫦娥奔月和牛郎织女的故事。西方也有许多关于飞行的传说故事，希腊神话中这类故事不胜枚举。阿波罗、赫尔墨斯、赫克勒斯等都是能在空中自由飞行的英雄。

有关飞行的神话传说在人们心目中确立了飞行的目标，并由此成为探索飞行的动力。在古代人民征服自然的过程中，涌现出大量与航空有关的技艺和发明，有的如风筝、火箭、促使民用航空迅速发展空器。欧洲近代以来，科学技术获得飞速发展，飞行 促使民用航空迅速发展 探索的主题之一。1783 年，热气球载人飞行成:促使民用航空迅速发展 。20 世纪初，航空与航天双双取得了重大突破：1903 年促使民用航空迅速发展 箭运动与航天学理论诞生，人类进入了航空航天航空迅速发展发展期。

第一次世界大战，飞机很快投入了战争，使战争面貌发生了深刻变革。战争结束后，飞机的广泛使用促使民用航空迅速发展。也正是在第一次世界大战结束后，液体火箭发展成功，使航天探索有了适用的运输工具。与此同时，新型客机出现，使航空运输的面貌了根本性变革。二战期间，德国率先将液体火箭推向实用化，研制出 V-2 导弹。20 世纪 50 年代是航空航天发展的重要时期，喷气时代的进步，诞生了先进的喷气式作战飞机和民用客机，使航空技术发生了一场伟大的革命。液体火箭在大发展过程中，洲际导弹和航天运载火箭诞生了。1957 年 10 月，前苏联发射成功第一颗人造地球卫星，航天时代终于到来了。此后，航空航天技术的发展更加迅速，应用更加广泛。航空航天技术改变了世界面貌，对政治、经济、军事、科技和文化都产生了极大的影响。航空航天技术的发展引起了人类社会的巨

大变革，影响到通信、气象、导航、冶金、材料、加工、医学、能源、军事、地质、矿产、农业、文化、科学探测、天文学研究等各个领域，是社会进步的强大动力。航空航天技术是典型的知识密集和技术密集的高技术事业。航空航天技术的发达程度，已经成为衡量一个国家科学技术、国防建设和国民经济现代化水平的重要标志之一。

纵观航空航天的历史，充满了艰难险阻，但也成就辉煌。本书从航空航天技术取得的大量成果中，选取30个最具代表性的重大事件或重大成就进行介绍，使读者能够了解到20世纪航空航天发展的基本概况。

张锡祥 院士

2007年11月

目录

1 齐伯林发明硬式飞艇

载人热气球和氢气球于1783年先后诞生，人们开始尝试给气球加装动力，使之能够操纵向一定方向飞行，这样气球就演变成了飞艇。自1852年飞艇出现后近半世纪，尽管不少人想尽各种办法改进飞艇，但它始终没有达到实用阶段。20世纪初，硬式飞艇的发明终于改变了这一局面，使之在许多方面有了用武之地。

飞艇的出现

1784年即载人气球发明后的第二年，人们开始研究如何改进气球的飞行性能。法国军官梅斯涅设计出一艘飞艇，迈出了从气球到飞艇的重要一步。他采用椭圆气囊代替球形气囊，以减少飞行阻力，同时设计了水平安定面以改善飞艇的稳定性。由于缺少经费，梅斯涅的飞艇没有建造。同年9月，法国的罗伯特兄弟建造了一艘飞艇，采用人力驱动。由于推力很小，根本无法控制飞艇的飞行。自罗伯特飞艇之后，人们又提出了许多设想，大家面临的同一问题是发动机动力不足。可以说，合适的动力装置已经成为飞艇发明的关键。

1851年，法国工程师吉法尔制造了一台小型蒸汽机，功率为2.24千瓦，重约160千克。这台蒸汽机在当时条件下已是相当精巧了。吉法尔设计的


飞艇正在降落



飞艇长43.89米，最大直径约11.9米，气囊容积2497立方米，采用氢气作为浮升气体。1852年9月24日，吉法尔驾驶飞艇从巴黎起飞，飞行了约28千米后在特拉普斯附近降落。这是人类历史上第一次成功的飞艇载人飞行。由于动力不足，在9月24日的飞行中无法逆风回到起飞地点，只好用火车运回。

第二次技术革命给人们提供了两种动力装置：电动机和内燃机。由于有了新的动力装置，飞艇的速度开始提高，操纵性也随之改善。到了1884年，法国人雷纳德和克雷布制造的“法兰西号”飞艇完成了第一次完全可控制的飞行。这艘飞艇采用电动机为动力，在1884年8月9日的试飞中，“法兰西号”在23分钟内完成了8千米的圆周飞行。

第一个把汽油发动机成功地用在飞艇上的，是侨居法国的巴西人桑托斯·杜蒙。自1899年开始，他共建造了14艘以汽油发动机为动力的小型飞艇。1901年10月19日，他驾驶第6号飞艇围绕埃菲尔铁塔飞行了一周后安全返回原地，飞行时间29分半钟。

从吉法尔到杜蒙，都沿用了气球的结构形式，这种结构在飞艇技术上称为“软式结构”，即采用一个气囊，内部充入轻于空气的气体并使之达到一定压力，这样气囊就可以产生一定的浮力，同时保持一定的形状。在气囊的下部用绳索吊挂吊舱，吊舱上装有操纵装置和动力装置并搭乘人员。这种软式结构保留了气球结构简单的优点。但是由于气囊形状是由内部气体压力维持的，所以结构刚度较差；另外由于织物本身强度的限制，承受集中载荷的能力也很有限。在当时的条件下，软式飞艇的体积很难超

过20000立方米，这就大大限制了飞艇的运载能力和续航时间。要克服这个弱点，使飞艇有较高的使用价值，就必须摆脱气球结构形式传统的影响，另辟新径。

硬式飞艇发明过程

19世纪末到20世纪初，内燃机和铝合金材料的出现，使硬式飞艇的发明有了可靠的技术基础。但是，“机遇只偏爱有准备的头脑”，这个有心人就是德国军官齐伯林。他发明的“硬式飞艇”直到20世纪30年代后期一直领导着飞艇技术的潮流。



从1887年开始，齐伯林就计划建造一只不同以往的、能够完成长途运输和空中作战等多种任务的大型飞艇。为了达到这一目的，齐伯林开创了一种全新的结构——硬式结构。这种结构的特点是：艇身全部采用铝制框架制成，框架外部有织物蒙皮。框架除纵向的长梁外，还有十几个隔框，隔框把整个艇身分为十几个舱室，每个舱室中放置一个气囊，一艘飞艇的气囊就是由十几个小气囊组成的。隔框又分为主框和中间框，主框的强度和刚度都较高，可以承受较大的载荷。结构上的改革使飞艇可以大大增加体积，从而使运载能力大为提高。

1896年齐伯林成立“飞艇飞行推进协会”，筹集了一笔资金，开始正式建造LZ-1号飞艇。该飞艇头部为锥形，艇身为圆柱形。全长128米，直径11.65米。框架用铝材制成。全艇共分17个舱室，每个舱室内放一个气囊，内充氢气。气囊总容积为11300立方米。飞艇蒙皮用防水棉织物制成。艇

身后部下面有两个刚性吊挂的发动机吊舱，各安装一台11.8千瓦的戴姆勒发动机。飞艇的方向舵由四块铅垂操纵面组成，头部尾部各两块。飞艇的俯仰是由一块可前后移动的100千克重滑块控制的。

LZ-1号飞艇共进行了三次试飞，最好的一次是1900年10月17日的第二次试飞，飞行时间约1小时20分。尽管LZ-1号飞艇的试飞情况并不令人满意，特别是操纵性不佳，但这种飞艇的创新性已十分明显，这就是：

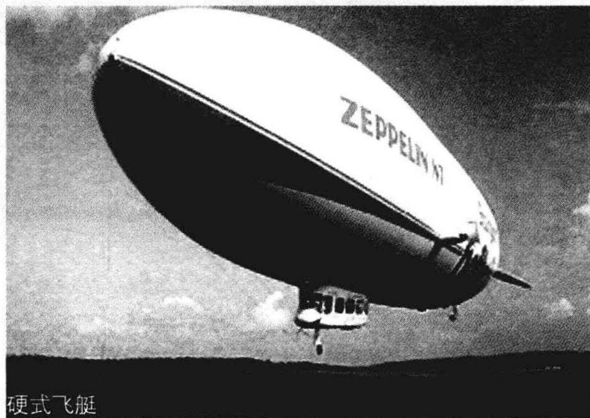
1.采用全金属结构，使飞艇能永久地保持外形，而无需依靠内部气体压力作用。2. 将整个气囊分为若干个小气囊不仅是结构上的需要，而且使飞艇的安全性大大提高，一个气囊损坏不致使飞艇丧失全部浮力。3. 相互独立的两套推进系统。4.吊舱与飞艇间采用刚性连接。5.走廊结构，建立了各吊舱间的通道，从而使艇上人员可以往来于各舱室之间，便于相互联系和设备的维护。6.飞艇尺寸较软式飞艇大得多，载重能力更大。



1905年，齐伯林建造了LZ-2号飞艇，采用了两台功率更大的63.4千瓦的发动机。LZ-2号飞艇在1906年1月17日试飞，操纵性能良好。1906年秋，齐伯林又建造了LZ-3号飞艇，在当年10月9日和10日的试飞中取得了完全的成功。飞艇操纵性能良好，持续飞行了4小时以上。由于在尾部安装了4块大型水平安定面，使飞艇的稳定性大大提高。

1907年，德国政府对齐伯林飞艇发生了浓厚兴趣，专门拨出了50万马克资助LZ-3号飞艇的试验。1908年9月24日到30日，LZ-3号飞艇在

政府代表的参加下进行了多次试飞。在30日的试飞中，飞艇持续飞行了37小时，航程达350千米，创造了当时飞艇续航的最高记录。自此德国政府确认了齐伯林飞艇的实用价值，开始资助齐伯林的研制工作。1909年，齐伯林创办了世界上第一家民用航空公司——德莱格飞艇公司。德莱格飞艇公司自成立以来，直到第一次世界大战爆发停止营业，它在德国国内共进行1588次商业飞行，运送旅客34028人次，总航程达173682千米，总飞行时间为3175小时。难能可贵的是，该公司在运营期间，未发生一次伤亡事故。



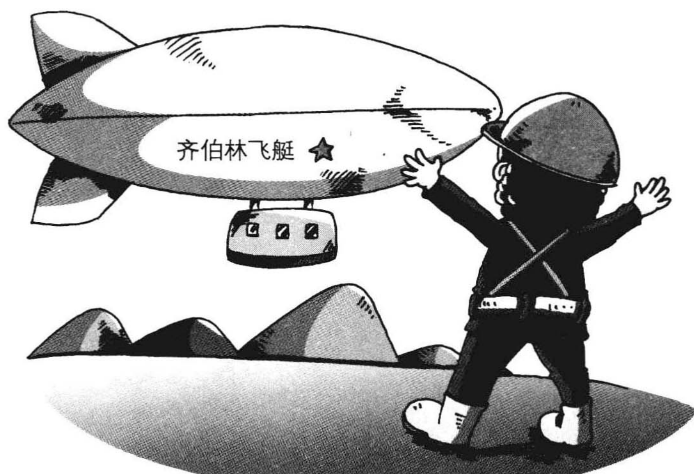
硬式飞艇

齐伯林飞艇的兴衰

1914年7月28日第一次世界大战爆发。在大战期间，各国建造了几百艘飞艇。其中齐伯林飞艇88艘，其余为软式飞艇。软式飞艇在战争中主要用于海岸巡逻和反潜艇。英国海军为了与德国潜艇对抗，从战争一开始就加紧研制软式飞艇。在战争需求的直接推动下，英国的飞艇技术后来居上，从1914年到1918年共研制了3个系列的飞艇。其中N.S型飞艇达到了战时软式飞艇技术的最高峰。最著名的是N.S.11号飞艇，它在1918年创造了连续飞行101小时，航程6400千米的软式飞艇飞行记录。

早在战争爆发前，德国军方就对飞艇发生了兴趣。从1913年起，国防部每年给齐伯林飞艇公司一定的资助。德国军方把飞艇编入陆海军基于两个目的：一是准备使用飞艇对敌方地面目标进行轰炸；二是用于空中预警。

大战一爆发，德军飞艇就频繁地穿越战线执行轰炸和侦察任务。在战争初期，齐伯林飞艇的飞行高度很低，一般在2000米以下，所以不断被敌方



的地面炮火和飞机击落。1915年春，齐伯林公司推出了LZ-38号飞艇，气囊容积达到32000立方米，飞行高度提高到了3000米～3300米。它可以携带2吨～3吨炸弹，相当于当时一个轰炸机中队的载弹量。这段时间是齐伯林飞艇的黄金时期，它们不断被送往西部和东部战线执行轰炸任务。1916年，齐伯林公司研制出气囊容积为35800立方米的LZ-61号飞艇，飞行高度提高了700米，生产了11艘。

协约国的飞机设计师们并不给齐伯林飞艇以喘息的机会。很快飞机升限突破了6000米。于是德国当局又向齐伯林公司提出制造更大的飞艇的要求。1917年到1918年间，齐伯林公司又建造了4艘68000立方米级的飞艇，飞行高度可达6500米。即使如此仍不能满足要求，飞机的升限此时已经达到8000米了。该级别的LZ-112飞艇在1918年首次出战就被击毁。至此德国海军也只好放弃发展飞艇的计划了。

从1914年第一次世界大战爆发到1919年6月战争结束，德国共投入了101艘齐伯林飞艇参战。战争实践证明，飞艇由于自身的弱点，不适于作为一种攻击性武器。

齐伯林飞艇虽然在战争中被击败了，但是硬式飞艇在设计和工艺上却更趋于完善。战争后期，齐伯林飞艇最大容积可达68000立方米，飞行时间可达95小时，飞行速度可达每小时100千米，载重可达13吨。1925

年到1926年德国全国共捐献了200万马克，用来帮助齐伯林公司制造一艘巨型硬式飞艇，它就是历史上赫赫有名的LZ-127“齐伯林伯爵号”飞艇。它长236米，最大直径约30米，气囊容积约11万立方米。安装5台418千瓦的发动机，最大速度为128千米/小时，航程16955千米。艇上各种设施齐全，除40名服务人员外，可搭载旅客20人（短途55人），此外还可携带货物15吨。

“齐伯林伯爵号”果然不负众望，自出世以来屡建功勋。它多次飞往北极，还建立了大西洋两岸的空中客运走廊。影响最大的一件事是1929年8月8日至29日的环球飞行。“齐伯林伯爵号”从美国新泽西州出发，飞越欧洲大陆和西伯利亚抵达日本东京，然后又越过太平洋飞至洛杉矶，最后横跨美洲大陆返回，历时21天7小时34分，航程35200千米。

1933年希特勒上台后，他的宣传部长戈培尔看重飞艇在宣传上的巨大作用，于1934年拨款50万马克给齐伯林公司建造“兴登堡号”飞艇，德国航空部也拨款200万美元。1936年3月4日“兴登堡号”飞艇首次试飞成功。

知识链接

“兴登堡号”飞艇全长245米，最大直径41米，总气囊容积20万立方米。可携带载荷重量为19吨。装有4台612千瓦的柴油发动机。飞艇上还装备有无线电话和无线电报系统，这些系统可采用长波和短波两种通讯方式。“兴登堡号”的巡航速度为121千米/小时，续航时间为200小时。在舒适程度上“兴登堡号”也居飞艇之首。艇内设有豪华的旅客卧室、餐厅、休息室、吸烟室和散步走廊，完全可以和高级客轮的二等舱相媲美。

自1936年3月4日第一次试飞，到1937年5月6日失事，“兴登堡号”共进行了63次商业飞行。其中有37次是横渡大西洋的，总飞行时间是3088小时，总航程达33万多千米，运送旅客3059人次。但好景不长。1937年5月6日，当“兴登堡号”来到美国新泽西州赫斯特湖飞艇场准备降落时，突然起火爆炸。不到一分钟，这艘名噪一时的空中巨鲸就变成了一堆废墟。



这次事件中共有36人遇难。

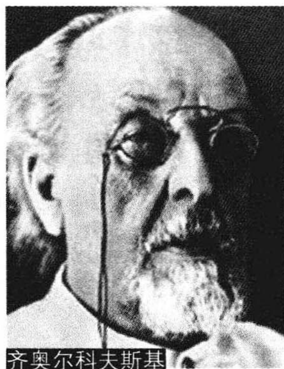
“兴登堡号”的失事，以及英美飞艇的几次重大事故，使飞艇的发展处于了停滞状态。但自20世纪70年代以来，随着科学技术的进步，飞艇在消沉了约三分之一世纪后，又获得了新的发展活力。与飞机相比，飞艇的燃料消耗率更低，续航时间更长、噪音和环境污染更小、起降场地更为简单，使飞艇在环境监测、高空遥感、通讯及电视转播、空中预警及反潜等方面获得了新的发展空间。

2　齐奥尔科夫斯基创立航天学

航天科学的诞生经历了漫长的历史阶段。古代各国都流传着美妙的太空飞行故事，牛郎织女、嫦娥奔月就是我国民间广为传诵的飞天神话故事。这些故事后来激发文学家创作出脍炙人口的航天科幻作品。这些作品引导许多航天先驱致力于航天学研究。另外，中国古代发明的火箭给了航天先驱者们极大的启发，他们认识到只有依靠反作用原理才能实现登天飞行的理想。19 世纪末到 20 世纪初，活跃着一大批航天先驱者，其中俄国的齐奥尔科夫斯基成就最大，影响也最大，被誉为航天学之父。

齐奥尔科夫斯基生平

1857 年 9 月 15 日，齐奥尔科夫斯基出生于俄罗斯梁赞州的伊热夫斯科耶镇（靠近莫斯科），取名康斯坦丁。他在 9 岁的时候，由于患了严重的猩红热病而使听觉几乎完全丧失。没受到正规教育，他只能靠借到的几本书进行顽强自学。他的兴趣主要在理论方面，特别是数学、物理学和天文学等。


齐奥尔科夫斯基

齐奥尔科夫斯基 16 岁的时候，父亲送他到莫斯科去求学。虽然他仍无法在学校里学习，但这里的环境显然比乡下优越得多。他在莫斯科的三年多时间里几乎完全钻进图书馆里。在自学过程中，有关飞行和星际航行问题已经开始强烈地吸引着他。这方面的兴趣在很大程度上是受到凡尔纳科幻小说的影响。齐奥尔科夫斯基在 1911 年回忆说，“在过去很长时间里，我也和其他人一样，认为火箭不过是一种少有用途的玩具。我已很难准确回忆起我是怎样开始计算有关火箭的问题。对我来说，第一颗太空飞行思想的种子是由著名的儒勒·凡尔纳科幻小说播下的，它们使我在头脑里形成了确定的方向。我开始把它作为一种严肃的活



动。”从那以后，齐奥尔科夫斯基开始关注与这类问题有关的科学理论。

刻苦自学使齐奥尔科夫斯基获得了大量的科学知识，也为他后来的研究工作奠定了重要基础。1880年，他轻而易举地通过了中学教师的资格考试，被分配到波罗伏斯克县担任中学教师。

1892年，齐奥尔科夫斯基移居到卡鲁加的波洛维斯克，在那里仍然担任中学教师。这时他的研究方向转到轻于空气的飞行器——飞艇上面来。他通过计算认为，只要飞艇的体积做得足够大，可以弥补发动机的不足。此外，他建议飞艇采用全金属结构。

这期间是他一生中富有创造力的一段时光，许多航天学重要思想都是在这一时期产生的，包括火箭运动理论。1903年以后，他发表了大量航天学理论文章。十月革命后的1919年，他被选为社会主义科学院的会员，1921年9月苏维埃联邦社会主义共和国人民委员会会议决定他享受特殊养老金。从那时起，他全身心地投入研究工作。

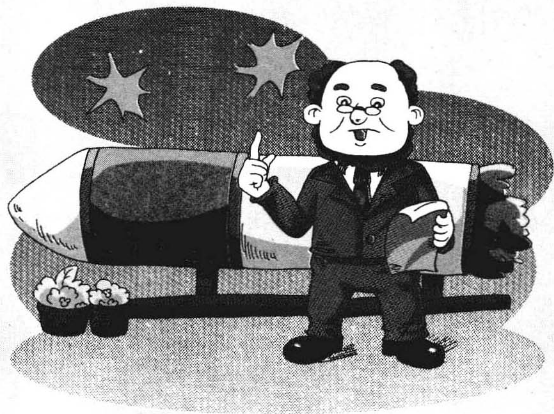
随着世界范围内火箭和太空飞行研究热潮的兴起，齐奥尔科夫斯基的名望在迅速增长。1932年在齐奥尔科夫斯基75周岁生日时，前苏联的各大报纸和杂志都刊登了有关他的事迹和科学成就的长篇文章，斯大林



也向他发去了生日贺电,一时间这位老人成了前苏联杰出的英雄。他在新的时代里感到充满了希望。他在给斯大林的信中表达了他的兴奋之情:"我在航空、火箭和太空飞行方面的一切工作都是为了布尔什维克和苏维埃政府——人类文化发展的卓越领袖。我充分相信在他们的领导下,一定能够成功地完成这些伟大的事业。"

齐奥尔科夫斯基为航天事业的发展贡献了毕生精力。他建立了液体火箭运动理论和太空飞行基本理论,为航天学的建立做出了巨大成就。他是位多产的科学家,一生发表了730多篇科学论文和科学幻想作品。

1935年8月,齐奥尔科夫斯基写了一封致苏共中央的信。信中感谢党和政府对他的帮助,表达了推动人类进步的愿望,并表示将自己的全部著作献给祖国。他坚信,业已开始的星际航行事业一定会继续胜利完成。同年9月19日,齐奥尔科夫斯基与世长辞,享年78岁。前往卡卢加参加葬礼的有前苏联党和政府的代表,也有科学界和社会团体的代表,送殡的队伍长达2千米。安葬他遗体的公园被命名为齐奥尔科夫斯基公园。



齐奥尔科夫斯基的航天学理论

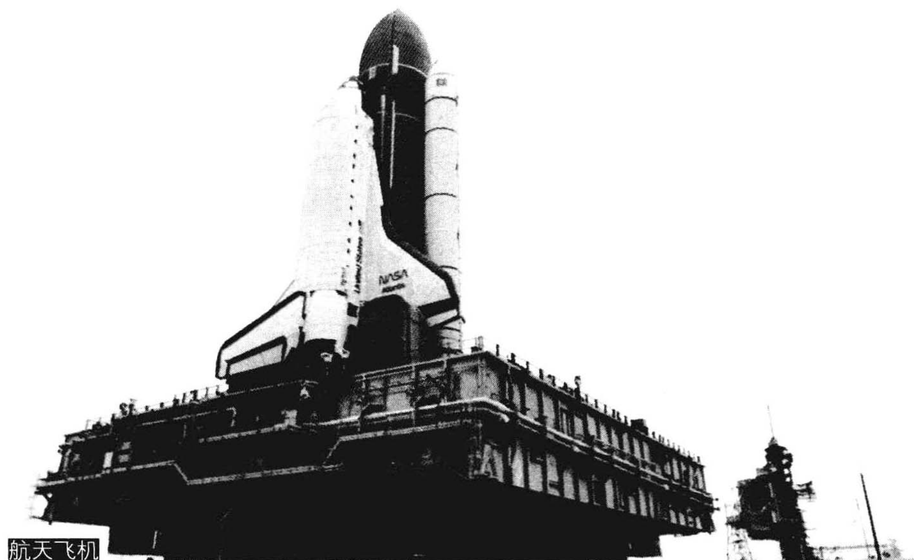
齐奥尔科夫斯基在科学技术方面的贡献是多方面的,除气体力学等理论问题外,主要包括航空和航天两大领域。在航空上,他建造了俄国第一座风洞,首次提出了硬式飞艇的设想。当然,他最大的贡献是建立了火箭运动与航天学理论。

1878至1879年,为了研究生物在飞行环境中的反应问题,他设计了一

种研究加速度对生物体影响的装置。1883年，他在《自由空间》手稿中，首次指出利用反作用装置作为外太空旅行工具的推进动力的可能性。他对这种火箭动力的定性解释是，火箭运动的理论基础是动量守恒定律。这些太空飞行思想在1893年发表的科幻小说《月球上》和1895年写的《地月现象和万有引力效应》中得到了进一步发展。1896年，他进一步明确了只有火箭才能实现太空飞行目的。1897年，齐奥尔科夫斯基推导出了著名的火箭运动方程式。

齐奥尔科夫斯基首先研究的问题是太空飞行用的运载工具。受中国古代火药火箭的启发，他认识到在宇宙空间没有空气的情况下，唯一能够使用的运输工具是火箭。他经过几年潜心研究，于1898年完成了航天学经典论文《利用喷气工具研究宇宙空间》，但这篇论文直到1903年才在莫斯科的《科学评论》杂志上发表。

《利用喷气工具研究宇宙空间》内容涉及与火箭和航天飞行有关的各个方面问题。首先，作为科学研究和探测工具，齐奥尔科夫斯基分析了现有运输工具的不足。他指出："到目前为止，小型不载人并且能携带自动科学仪器的气球也不可能到达22千米高。"为了进一步增加高度，由于高



航天飞机

空大气密度急剧降低，制造飞得更高的气球有几乎不可克服的技术上的困难。“现有的大炮炮弹的初速度很难达到 1.2 千米每秒，在这样的条件下，炮弹大约只能飞到 75 千米高。但由于炮弹的过载太大，落地时又易于受到撞击而损坏自动仪器，因此利用炮弹作为工具携带科学仪器的方式也不可靠”，所以，“我建议利用反作用机械研究高空大气。我所指的反作用机械就是火箭。”

接着齐奥尔科夫斯基推导出了火箭运动的基本方程，这个公式后来被命名为齐奥尔科夫斯基公式。在这个公式的基础上，他又推导出了火箭在重力场中的运动方程式。根据这两个公式，齐奥尔科夫斯基建立了火箭质量比的概念，并指出质量比的重要意义。他还首次提出了火箭推进剂比冲的概念，认为比冲越大，火箭性能越好。

齐奥尔科夫斯基还推导出了火箭要克服地球引力所要具备的最小速度即第一宇宙速度为每秒 8 千米。为了达到火箭的最高性能，他研究了各种可用的燃料，根据计算他指出，液氢液氧是火箭发动机最理想的推进剂，因为这种组合比冲最大，能量也最大。另外，他考虑了发动机的冷却、推进剂输送方式、火箭飞行控制等技术问题。

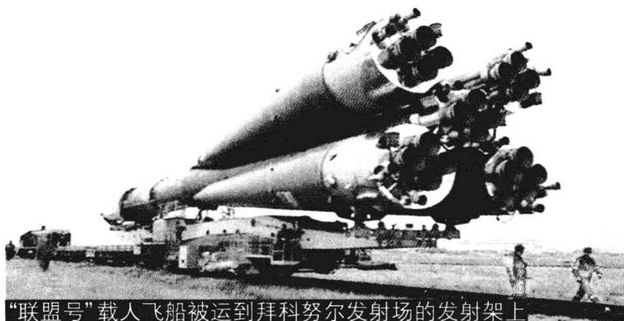
在论文中，齐奥尔科夫斯基又对星际航行问题进行了研究和展望。他设计并画出了载人宇宙飞船的草图，研究了载人宇宙飞行的种种问题，包括载人飞船内如何保持适宜的温度、压力、湿度等条件，飞船内空气和水的净化和重复使用问题，二氧化碳的吸收问题，利用绿色植物提供氧气的问题，以及宇航员如何克服起飞时的高过载问题等等。在 1911 年发表的《利用喷气工具研究宇宙空间》下半部分中，齐奥尔科夫斯基详细地描述了一艘载人宇宙飞船从发射到进入轨道的全过程，内容涉及飞船起飞时的壮观景象，超重对宇航员的影响，失重效应以及人的感觉和飞船内物体的奇异表现。1919 年，齐奥尔科夫斯基提出了多级火箭思想。

知识链接

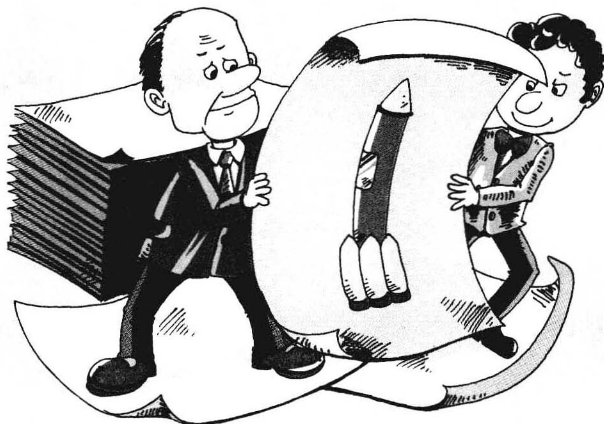
齐奥尔科夫斯基发表的论文构成了一个相当完整的航天学理论体系，其中有许多研究发现或论述在航天史属于第一：

1.首次明确提出液体火箭是实现星际航行的理想工具。2.首次较全面地研究了各种不同的液体推进剂，并提出液氢液氧是最佳的火箭推进剂。3.首次推出火箭在真空中运动的关系式，并计算出火箭的逃逸速度。4.首次提出了火箭质量比的概念，并阐述了质量比的重要性。5.首次画出了完整的宇宙飞船的设计草图。6.首次提出了液体火箭推进剂的泵输送方法。7. 首次提出了火箭发动机燃烧室的再生冷却方法。8.首次提出利用陀螺仪实现宇宙飞船的方向控制。9.首次研究了失重对生物和人的影响，并提出了减轻失重和超重不利影响的措施。10.首次开展了失重和超重对小动物影响的试验。11.首次提出利用植物改善舱内环境和提供宇航员食物的措施。12.首次研究了火箭在大气层中运行时的空气动力加热问题。13.首次提出空间站和太空生物圈设想。14.首次提出利用太阳光压推进宇宙飞船的思想。15.首次提出太空移民思想。

齐奥尔科夫斯基在晚年写作并在去世后发表了一篇关于太空飞行展望的文章《太空火箭工作:1903年～1927年》(1936年发表)。在这篇文章中，齐奥尔科夫斯基系统总结了他在火箭和航天学研究过程中所做的工作和取得的成就。然后，他对航天的未来可能发展阶段做了划分。这些阶段包括:火箭汽车、火箭飞机、人造卫星、载人飞船、空间工厂、空间基地、太阳能的充分利用、外太空旅行、行星基地以及星际飞行等。


“联盟号”载人飞船被运到拜科努尔发射场的发射架上

齐奥尔科夫斯基对前苏联许多火箭及航天先驱产生了直接的影响。正是在他的影响下，前苏联在20世纪二三十年代成立了多个火箭研究小组，开展液体火箭研制。在这个过程中，涌现出一批火箭工程师，他们当中的科罗廖夫、格鲁什科、吉洪拉沃夫就是杰出的代表。



1911年8月12日，齐奥尔科夫斯基在给《航空评论》杂志的编辑伏罗比耶夫的信中，写下了这样一段名言："地球是人类的摇篮，但人类不可能永远被束缚在摇篮里。它首先小心地探索大气层的边缘，然后将把控制和干预能力扩展到整个太阳系。"可以告慰这位伟大的先驱者的是，他所构想的太空飞行包括载人太空飞行目标，都首先在他的故乡前苏联/俄罗斯实现。今天，齐奥尔科夫斯基这位伟大的航天先驱者的大部分预言已经变成了现实。

3 莱特兄弟发明飞机

1903年,美国的莱特兄弟凭借着对航空的热爱,凭借着不断地追求和不畏困难的精神,完成了飞机发明的重任,实现了人类几千年来的梦想。

莱特兄弟之所以取得成功,一方面由于时机已经成熟;另一方面,他们研制飞机遵循了科学的方法。他们有丰富的机械设计经验;他们把飞机研制当做一项极为困难的任务循序渐进地进行;他们有效地运用了前人的研究成果,又结合了自己的空气动力学研究;他们把理论、设计和试验完美地结合起来。简言之,他们成为飞机的真正发明者有很强的必然性。

积累航空知识


莱特兄弟

莱特兄弟中哥哥威尔伯·莱特1867年出生于美国印第安纳州,弟弟奥维尔·莱特1871年出生于俄亥俄州。他们俩在家排行老三和老四,上面有两个哥哥洛希林和洛林,下面还有一个妹妹卡特琳娜。他们的父亲密尔顿·莱特是当地的一位牧师。

少年时代的莱特兄弟兴趣广泛,他们办过报纸、杂志,制作过竹蜻蜓、风筝。成年后,从修理自行车开始,逐步办起了自行车制造公司。办公司积累的资金为后来研制飞机打下了坚实的经济基础。

德国滑翔英雄李林塔尔1896年因飞行事故逝世的消息促使莱特兄弟对航空和飞行问题给予更大的关注。在此后的两三年间,他们通过阅读有关书籍以加深对航空的了解。据莱特兄弟回忆,他们一开始并没有奢望解决前人没有解决的飞机研制问题,只是出于一种好奇心。但当他们对这个复杂的问题了解得越深入,就越对飞行问题着迷。最后,他们放弃

了一切活动专心于飞机研究和设计。这个时间大约在1899年。

知识链接

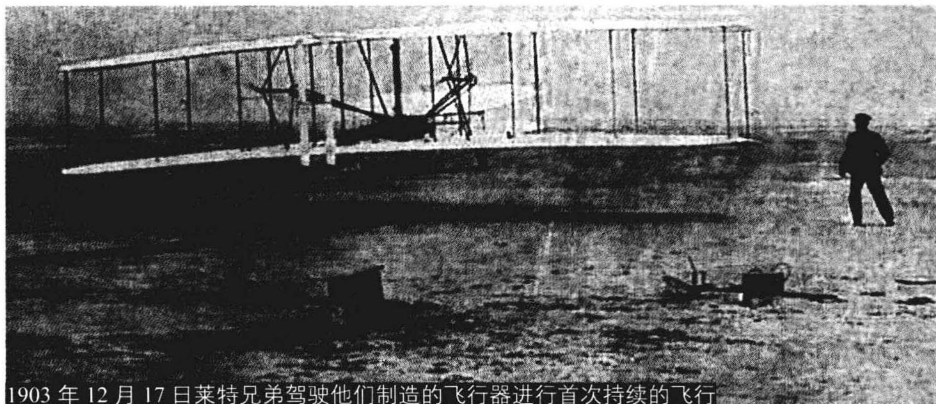
德国土木工程师奥托·李林塔尔改进了载人滑翔机，从而成为世界上最早的滑翔机先驱之一。

李林塔尔在仅仅五年内研制出18种不同的型号（15种单翼机和3种双翼机）。每个型号的滑翔机都是通过飞行员移动身体的重量进行操纵，和如今的滑翔机操纵一模一样。

可惜的是，李林塔尔因滑翔机坠机身受重伤，于1896年8月10日去世。

1899年5月，威尔伯·莱特写信给史密森研究院，索取与航空有关的资料。研究院给他们提供了一张清单，其中有查纽特的《飞行机器的发展》、兰利的《空气动力学试验》、李林塔尔的《作为航空基础的鸟类飞行》以及《航空年鉴》。这些历史文献对他们起到了极大的引路作用。他们回忆说，看了这些资料后，他们发现自己对航空问题所知竟如此之少。通过研究这些资料，他们至少在两个方面获得了重大教益：一是学到了比较系统的航空知识；二是他们认识到飞机研制面临着重重困难，认识到前人存在的不足以及飞机研制所应采取的正确道路。

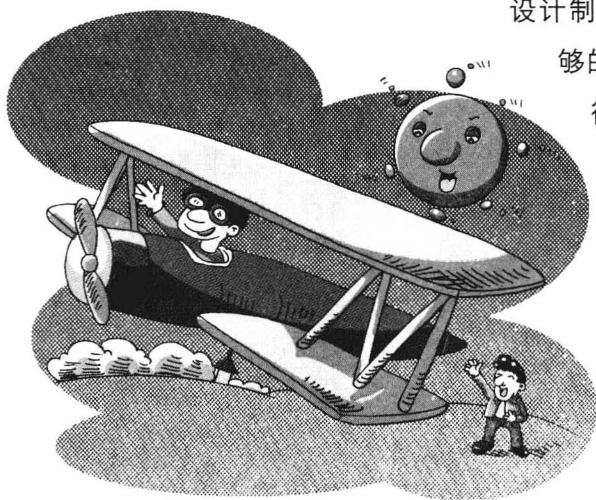
莱特兄弟很快认识到，19世纪动力飞机研制的必要条件已基本具备了。



1903年12月17日莱特兄弟驾驶他们制造的飞行器进行首次持续的飞行

先驱者们分别在飞机结构、空气动力学、升力与阻力关系、平衡与操纵、发动机等各个方面取得了程度不同的突破。但他们都只关注于飞机的某一个或几个方面问题，他们都孤立地看待和解决局部问题，而没有从整体上，从一架完整飞机的角度上寻求解决的办法，没有真正用系统的观点看待飞机设计问题。一句话，他们都称不上是飞机设计师。

在短短的两个多月中，他们完全弄清了一架成功的飞机所应具备的三要素：升举、推进和控制。通过学习，他们越来越感到解决平衡问题比设计制造重量轻、强度大、升力足够的机翼和轻型动力装置困难得多。于是，解决稳定与平衡问题便成了他们首要的突破口。威尔伯·莱特就曾说过："平衡问题是任何试图认真解决人类飞行问题的最大障碍。"



技术发明常常具有偶然性。1899 年 7 月的一天，威尔伯·莱特突然产生了灵感：使翼面扭曲变形可能是操纵飞机并使其保持平衡的可行方式。几天后，他们制作了一个小型风筝，对这个思想进行了初步试验，结果是令人满意的。

带着这个思想并对鸽子的飞行进行大量观察后，莱特兄弟于 1899 年秋获得了他们航空研究的第一项重大发现。威尔伯·莱特回忆说："对鸟在这种情况下采用的平衡方法进行解释时，我们发现：这可能是鸟的翼尖沿一个横向轴摆动……的结果。这样在空气动力的反作用下，使鸟实现平衡飞行。"这就是所谓的"翼尖翘曲"方法。以此设计的机翼具有一定的柔性，在翼尖处可以上下扭动，从而控制两边的升力使飞机保持平衡或实现操纵。

滑翔机研制试验

莱特兄弟的飞机试制最初选择了滑翔机，理由有两点：一是可以节省开支，因为精致的发动机要花费很多钱；二是驾驶滑翔机在空中翱翔更加激动人心，也更刺激。他们的第一号滑翔机于1899年8月间制造成功。它实际上只是一只宽度仅仅1.5米的大风筝，设计的目的纯粹是为了试验他们发现的保持平衡的翼尖翘曲方法的有效性。莱特兄弟通过试验证明了这种保持空中平衡和操纵的方法是有效的。

1900年9月，莱特兄弟设计制造了第一架全尺寸滑翔机。这架滑翔机采用的是李林塔尔的数据，翼展只有5.18米，翼面积约15.2平方米，前面有水平升降舵面。在气象部门建议下，他们选择了北卡罗莱纳州的基蒂·霍克作为试验场地。他们在试飞时发现，滑翔机在不载人时能够飞上天空，载人时则根本飞不起来。试验的情况表明，李林塔尔的数据可能不准确。因此，他们决定进行空气升力和阻力的试验。结果发现它的升力比计算值小得多，阻力也只有预计值的一半左右。

1900年冬天，莱特兄弟又制造了第二架滑翔机。它重约44千克，翼面积提高到约26平方米。这个数据比李林塔尔的滑翔机尺寸大。它的基本布局同第一号滑翔机相似，主要改进是增加翼型弯度并加装了翼尖翘曲操纵杆。

1901年7月27日，第二号滑翔机在基蒂·霍克进行了试验。它的性能有了较大提高，滑翔飞行的最大距离达130米，而且在风速达27千米/小时也能实现操纵。但莱特兄弟并没有因此而满



足。他们把性能仍然偏低的原因归结为机翼的升阻比太小，于是决定单独进行实验。1901年9月至1902年8月，他们用自制风洞对机翼翼型、升力和阻力特性进行系统研究。他们共进行了几千次试验，研究了200多种不同的翼型。这一年的试验研究积累了不少数据，为后来的成功打下了坚实基础。

利用新的数据和研究结果，莱特兄弟于1902年8至9月间制造了第三号滑翔机。它的翼展为9.08米，翼面积93平方米。前面安装的双面升降舵面积为1.4平方米，其中又安装了两只固定的垂直安定面，面积为1.07平方米。滑翔机空重约53千克。



1902年9月末，第三号滑翔机由奥维尔·莱特驾驶进行了首次滑翔飞行，取得了成功。在进行了多次试验后，决定加装可动的垂直尾舵，同时取消前面安装的两只垂直安定面。经过这些改动，飞行试验结果大不相同。威尔伯·莱特最好的成绩是：在26秒钟内滑翔了190米，奥维尔·莱特在21秒时间内滑翔了188米。

滑翔机研制和试验取得的巨大成功使莱特兄弟极度兴奋，这时他们已准备向动力飞机作最后冲刺。1902年底，威尔伯·莱特在一封信中，谈到了他们今后的打算。他说："我们的意图是，明年制造一架比目前这一架大得多的飞行器，差不多有两倍重。我们准备用它来解决重型飞行器的起飞和操纵问题。如果在飞行中它的操纵令人满意，接着我们就将在这架飞行器上安装一台发动机。"

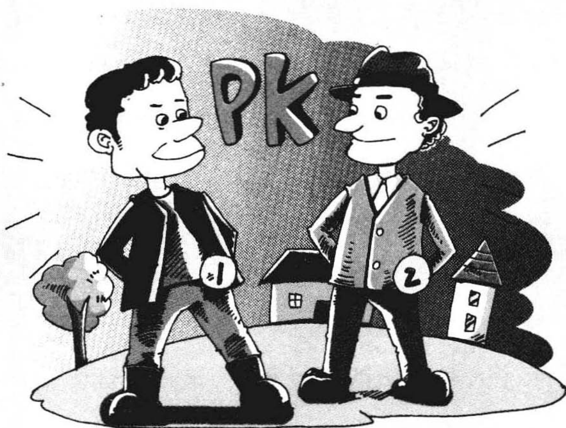
动力飞机的发明过程

莱特兄弟的滑翔机设计和试验取得这样的成绩，原因在于他们的研究与试验方法的科学性，很好地把理论和实践结合起来。也许更为重要的是在技术路线上，他们把三大要素按重要性和难易程度区分开来，首先解决最关键的平衡与控制问题，然后是升举问题，最后是动力推进问题。这种科学的研究方法也是他们取得最后成功的根本保证。

按照他们的设计，载人飞机估计总重约283.75千克，那么发动机功率应达到至少6千瓦，自重不能超过89千克。莱特自行车公司技师查理·泰勒在发动机制造上发挥了主导作用。参照车间里使用的一台内燃机，他们设计了一台四缸水冷式发动机。这台发动机性能优良，能够长时间发出9千瓦功率，峰值功率达12千瓦，重量只有75千克。

由于发动机功率有余，他们设计的第一架动力飞行器“飞行者一号”翼展达12.3米，翼面积47.4平方米，机长6.43米，连同驾驶员在内飞机总重约360千克。它的基本结构同第三号滑翔机相似，前面有两只升降舵，后面有两只方向舵，操纵的绳索集中连在操纵手柄上。飞机为蒙布和张线支柱结构。驾驶员卧在下机翼中间操纵飞机。

1903年9月，他们携带“飞行者一号”来到基蒂·霍克。飞机修理、飞行准备等工作完成后，时间已经是12月12日。12月14日，他们把飞机搬到小山上，准备依靠向下滑跑辅助起飞，以补偿风力的不足。威尔伯·莱特驾驶“飞行者一号”沿轨道滑行，但试验并不顺利。飞机过早地升起，转弯过猛，机头一直上仰，最后因失速而坠落于地。



1903年12月17日是人

类历史上意义深远的日子。当天清晨，天气阴冷，寒风刺骨。上午11时左右，发动机暖机后，奥维尔·莱特在飞机上俯卧就位。发动机启动后，飞机开始向前滑跑。滑行速度越来越快，“飞行者一号”终于成功地飞上了天空。第一次飞行时间很短，只有12秒，飞了约36.6米，但这是一项伟大的成就：它是人类历史上第一次有动力、载人、持续、稳定、可操纵的重于空气飞行器的首次成功飞行。这次成功飞行具有十分伟大的历史意义，为人类征服天空揭开了新的一页，也标志着航空飞机时代的来临。

12月17日11时20分，威尔伯·莱特又驾驶“飞行者一号”作了第二次飞行，也取得了成功，留空时间约11秒，飞行距离约60米。奥维尔作了第三次飞行，留空时间15秒，飞行距离61米。第四次也是当天最后一次飞行由威尔伯驾驶，取得了成功并取得当天的最好成绩：留空时间59秒，飞行距离260米。

1904年莱特兄弟又制造了“飞行者二号”，1905年又制造了“飞行者三号”。两架新飞机都有不同程度的改进，“飞行者三号”的性能远远超过了前两架。1905年10月5日取得的最好成绩是：平均速度约为38千米/小时，飞行时间38分钟。“飞行者三号”共飞行了50次，全面考察了重复起降能力、倾斜飞行能力、转弯和完全圆周飞行能力、8字飞行能力。能完成这些机动飞行表明，“飞行者三号”已具备了实用性，因此被看做是历史上第一架实用飞机。

1906年，美国专利局正式授予莱特兄弟飞机设计专利。1907年，莱特兄弟制造了一架新飞机。1908年2月，美国国防部同意观看莱特兄弟的飞行表演。3月，莱特兄弟与国防部达成制造莱特式飞机的协议。

1908年8月和9月，莱特兄弟分别在欧洲和美国公开进行飞行表演，全世界为之震惊。成千上万人前往飞行地参观。一时间，飞机成了人们街谈巷议的话题。莱特兄弟和他们的伟大成就在欧洲和美国得到了广泛的承认。他们成了全球瞩目的英雄式人物。英国航空学会秘书甚至说：“莱特兄弟掌握了能操纵各个国家命运的力量……”的确，飞机的发明预示了人类历史的一场革命，是人类征服自然取得的又一伟大胜利。

4 布莱里奥飞越英吉利海峡

1909年英吉利海峡的飞越，是莱特兄弟“飞行者一号”飞行成功后的又一件轰动性的事件，是飞机终于走向成熟的重要标志。英国《每日邮报》为了鼓励航空的发展，在1908年设下了1000英镑奖金奖励第一个飞越英法两国间的英吉利海峡的飞行员。气球和飞艇飞越英吉利海峡已成了家常便饭，而飞机从事这项活动是第一次，其难度也大得多。法国著名航空先驱布莱里奥驾驶自己研制的飞机飞越海峡成功，在世界范围内引起强烈反响。

布莱里奥的飞机研制

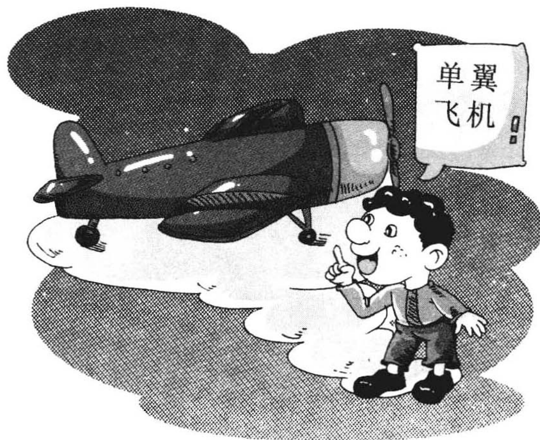
布莱里奥在1905年就曾同另一位航空先驱伏瓦辛等合作研制浮筒式滑翔机，但未取得成功。1907年，布莱里奥转而制造了一架尾翼在前的单翼飞机。他驾驶这架飞机进行了试飞，效果不太理想。后来他又转向设计串置机翼飞机，但这架飞机在试飞时摔坏了，只好又放弃。此后，布莱里奥致力于研制单翼机，并很快形成了自己的设计风格，开创了与双翼机平行的单翼机研制流派。


布莱里奥

知识链接

路易·布莱里奥是法国工程师，1872年生于法国康布雷市。他毕业于巴黎中央理工大学，后从事汽车工业，1896年开始涉足航空领域。自1902年开始，他利用自己设计的滑翔机学习飞行技术，1907年首次驾机升空。1909年7月25日驾驶自制的布莱里奥Ⅺ型飞机从法国加莱飞到英国多佛尔，成为世界上第一个乘飞机飞越英吉利海峡的人。

布莱里奥在同伏瓦辛短暂的合作后，于1907年自己动手设计飞机，选择了单翼布局形式。他的单翼机在机身头部安装一台发动机，机身前1/3处安装机翼，可操纵的舵面位于飞机尾部。他还用蒙皮把飞机机身覆盖起来。因此，布莱里奥1907年设计的单翼机的外形看起来颇为“摩登”，但实际上飞行并不成功。后来重新改进设计的单翼机取得了很大成绩，已能飞行40千米的距离。1908年6月，布莱里奥又设计和制造了有名的布莱里奥Ⅷ型飞机。经过改进后，于10月21日作了一次越野飞行，成绩不错。后来他又把机翼改小，机身后段上部升降舵之前又增加了一个固定的水平尾翼。



布莱里奥的飞机研制特点值得称赞。他实际上是第一位采取渐改方式设计飞机的设计师。他设计制造飞机的速度很快，一架飞机试飞后，发现问题或缺陷立即改进，不久又造出一个新的飞机。他往往亲自驾驶自己设计的飞机，对飞机性能特点的认识更加深刻。布莱里奥还可以说是一位无畏的驾驶员，天生的飞行家。他在试飞过程中，经常发生各种事故。从摔坏的飞机残骸中，布莱里奥不仅奇迹般没有受伤或受伤不大，还带来了新型的单翼机设计方案。由于他获得的成功。在法国出现了布莱里奥和伏瓦辛在飞机设计上展开的竞赛，而这实际上又属于单翼机和双翼机之争。

1908年2月，布莱里奥设计了IX型单翼机，采用48千瓦发动机。这架飞机在当年年底展出时，受到观众的好评。这架飞机的机翼很像是一只大鸟的翅膀，是其飞机设计探索的产物。1908年，他又设计了X型飞机，这一次采用了双翼结构，是他很少的双翼机尝试。此后不久，他设计出著名的布莱里奥XI型单翼机。

布莱里奥 XI 型拉进式单翼机个头不大，机长 8 米，翼展 7.8 米，翼面积 14 平方米，总重 300 千克。它装有一台 16.4 ～ 18.7 千瓦的安赞尼 3 缸，气冷半星形活塞式发动机，带动一副 2 叶螺旋桨，飞行时速约 75 千米/小时。它首次飞行试验是在 1909 年 1 月 23 日，到飞越英吉利海峡时，已经经过了半年多的考验。当初布莱里奥 XI 型安装的是一台 REP 发动机和一只风筝状直尾翅，后来经过改进，取消了直尾翅并换装了效率较高的安赞尼发动机。为了防止飞越海峡出现意外，布莱里奥还在机身尾部装了一只气囊，以备落在水上时起漂浮作用。

布莱里奥在飞越英吉利海峡之后，创办了自己的公司，主要生产 XI 型飞机。战争开始后，他接管了 SPAD 公司，生产系列战斗机，广泛用于战争。1913 年以前，公司共生产销售了 800 架飞机，这是相当庞大的数字。一战期间，布莱里奥共计生产飞机 1294 架。

飞越英吉利海峡的竞赛



20 世纪初，欧洲飞机的设计、制造和试验全面展开，并取得了相当大的进步和成就。航空先驱们学习莱特式飞机的长处，结合自己的风格，欧洲航空工业发展迅速。布莱里奥飞机于 1909 年首次飞越英吉利海峡，成了轰动世界的大事。此后，各种竞赛和展览活动纷纷登台，既考验了飞机的性能，同时又涌现出更多的航空设计家和飞行家，航空发展进入了一个初步在体育和娱乐中应用的新阶段。飞越海峡的壮举，对刚刚诞生的飞机来说是一次十分严峻的考验，世人对这个竞赛项目都报以期盼的目光。


布莱里奥飞越英吉利海峡

有意参加竞赛的有不少飞行家。他们看重的并不是那1000英镑奖金，而是那种激动人心的冒险和个人价值的实现。但也有不少人望而生畏，因为这不仅仅需要勇气，更需要熟练的飞行技巧，当然还要有性能优良的飞机。实际上，最后参加竞赛的只剩下拉汉姆和布莱里奥等几个人。桑托斯·杜蒙本有意参加竞赛，后经友人劝告而退出。因为他的“蜻蜓”式飞机太脆弱，飞越风浪险恶的英吉利海峡容易出危险。英国的拉巴特也有此意，他为此专门制造了两架莱特式飞机，可是在试飞时摔坏了一架。等第二架造好时，飞越英吉利海峡的竞赛已经结束。

法国人胡伯特·拉汉姆曾在美国接受教育。在飞越英吉利海峡的尝试中，他使用的是购买的一架装有副翼的安东尼特Ⅳ单翼机。飞机的一个重要特点是机身做成船体形，这一点后来在飞机落入海面时为拯救飞行员派上了用场。

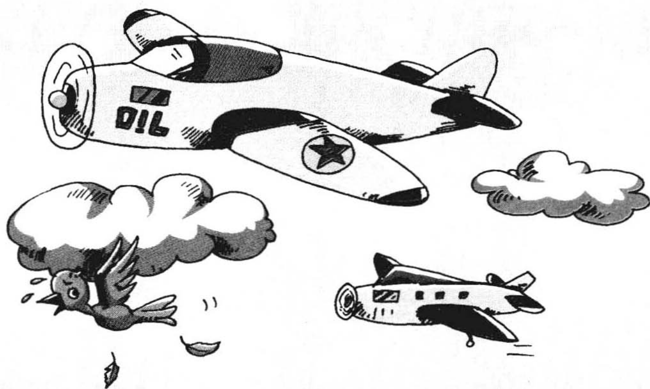
1909年7月19日，在一艘法国鱼雷艇发出信号后，拉汉姆发动了发动机，从法国的卡莱斯附近起飞，向对岸的桑盖特峭壁飞去。当飞机飞出海面11千米，拉汉姆正准备照相时，发动机开始出现故障。拉汉姆曾试图加以排除，但未能成功，几秒钟后发动机就完全停车了。这时飞机高度约350米，他只能小心谨慎地操纵飞机下滑，最后飞向海面。由于下降时飞机完全处于飞行员的控制之下，操纵良好，没有俯冲入水，而是拉平后才入水的，因此没有出现灾难性后果。这时飞机浮在海面上，静待救援。拉汉姆很快就被监视这次飞行的鱼雷艇救起。

拉汉姆事后将这次冒险的经历描述得非常轻松：“我立即放弃了拍照的想法，检查了所有我能摸到的电缆接头，还试调了发动机的汽化器和点

火器，但这一切都无济于事，几秒钟后发动机就完全停车了。在我失去动力的瞬间，我估计到我的高度大约有1000英尺，因此我想到，虽然我飞越海峡的第一次尝试失败了，但我可以宣告我创造了驾驶飞机飞行的高度记录。然后，我操纵飞机向水面滑翔下去……好像过了很长时间，我才接触到水面……在下降过程中，飞机的操纵性是良好的。为防止飞机带角度钻进海里，我在接近水面时把飞机拉平，因而飞机落到水面上时呈水平状态。我把双脚抬起，放在一根横梁上，以防止被水浸湿。然后，我取出烟盒，点上一枝烟，等待救援。”

拉汉姆上岸后，立即奔赴巴黎，定购另一架安东尼特飞机，打算再做一次飞行尝试。在飞机尚未运到时，布莱里奥已在离桑盖特不远的巴拉克斯作好了飞越英吉利海峡的准备。7月24～25日夜间，拉汉姆的代理人拉瓦瓦索欧在黎明前起床两次，看看天气不好，不能起飞，又回房间睡下了。就在这个当口，布莱里奥捷足先登。

布莱里奥成功飞越海峡



布莱里奥尽管从事航空活动多年，但在当时知名度还不太大。他在几天前试飞时发生了一次事故，一只脚烧伤了，到海岸察看地形时还拄着拐杖。人们对他并没有特别注意。那几天，一连在刮大风，使飞机无法飞行，拉汉姆和布莱里奥都在等待好天气。而布莱里奥在夜里2点30分起床骑摩托车跑了一圈，看看风渐渐小了下来，于是决定在凌晨4点驾机飞渡海峡。

1909年7月25日凌晨4时35分，布莱里奥驾驶飞机从地面起飞并越

过海岸沙丘向海面飞去。一艘驱逐舰这时已开到附近海面。下面是布莱里奥对这次历史性的飞行的记述:“10分钟之后,我越过了驱逐舰。这时,我转过头来看看,我是否在向着正确的航向飞行。我顿时大吃一惊,我既看不到那艘鱼雷驱逐舰,也看不到法国和英国海岸,我是独自一人,什么东西都看不到。我迷失方向达10分钟之久,处身于一个陌生的境地,孤立无援,既无引导,又无罗盘,飘荡在海峡中央的上空。我把手和脚轻轻地放在操纵杆上,让飞机自己选择航向。然后,也就是我离开法国海岸20分钟之后,我看到了多佛的峭壁、城堡和向西离开一定距离的预定着陆点。我究竟怎么办呢?很明显,风已使我偏离了航向……我用脚踩操纵杆向西转弯。此刻我确实面临着很多困难,因为峭壁附近的风力很大,我在克服风力影响时飞机速度又随之减小……我看到峭壁上有一块开阔地。这时我虽然相信,我还可以继续飞行1个半小时,并且我还确实能够返回法国着陆,但是我不能放弃在这块绿草如茵的开阔地上着陆的机会。我驾机进入这块开阔地,发现自己又飞翔在陆地上空。为避开处于右侧的红色建筑物,我试图着陆,但风很大。我关闭了发动机,飞机随立即便往下落。”



布莱里奥飞越英吉利海峡后,受到事先到达的他的妻子、英法官员和闻风而来的大批人群的欢迎;随后他的飞机用火车运到伦敦,引起极大的

轰动，数十万人络绎不绝地前往参观。在返回法国后，他更是受到英雄凯旋般的祝贺。

他用大约36分钟时间飞行了41.9千米，完成了飞机的第一次国际间飞行，具有巨大的科学和军事意义。对于这次飞行，英国著名历史学家和作家威尔斯曾说："……从军事观点看，纵然不用我们的舰队，（英国）已不再是不能到达的孤岛了。"

在布莱里奥飞越英吉利海峡之前，虽然有过一些飞行表演和飞行记录，但人们对于飞机的实用价值还有不少争议。这次成功飞行之后，对飞机实际用途的怀疑完全消除了。还使其研制的飞机迅速打开了销路，赢得了许多用户，仅1913年布莱里奥XI型飞机的各种改型就生产了800多架。



1909年12月，布莱里奥驾机在土耳其的君士坦丁堡进行飞行表演时，因失速而坠毁。布莱里奥没有受到重伤，但他决定放弃飞行，集中精力研制生产飞机。

布莱里奥的身体一直不佳。战后法国航空工业一直处于半死不活的状态，这对于布莱里奥来说是沉重的折磨。1935年8月1日，布莱里奥因心脏病发作在巴黎逝世，享年62岁。

5 DC-3 现代民航机的诞生

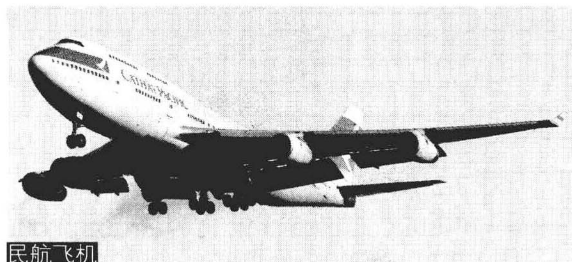
第一次世界大战一结束，欧美各国便纷纷建立民航航线。洲际航线的建立，使世界各大洲的联系加强了，地球变得小了，飞机在国际间政治、商业中的作用日益增长。但是，由于早期民航飞机多采用轰炸机改装而成，航程有限，载客量小，航空公司经营客运航线一直处于亏损局面。社会的迫切需要和降低运营成本的要求，促使现代民航机的出现。

民航的诞生和发展

在第一次世界大战以前，欧洲已经进行了一些民用航空飞行试验。例如：1910 年 8 月 10 日，英国进行了航空邮递运输试验。1911 年 2 月 18 日，法国进行了航空邮递试验。1911 年 9 月 19 日，意大利进行了航空邮递飞行试验。1910 年 6 月，德国首次用硬式飞艇开辟客运航空线。1911 年 7 月 4 日，英国飞行员进行了第一次航空货运飞行。1914 年 1 月 1 日，美国佛罗里达州还开辟了为期三个月的定期航线。

尽管有上述多次飞行试验，但是由于这一时期航空技术还很落后，民用航空的前景，特别是商业航空的前景并不明朗。所以各国政府的首脑、企业家、军事领导人和技术专家都把注意力集中在航空技术的军事用途上。

1914 年第一次世界大战爆发，民用航空飞行都被迫停下来。各国的航空技术力量都集中起来为战争服务。但是反过来，战争又使得大量的人力和物力集中到航空领域，短短的四年间，航空技术有了突飞猛进的发展。在战前，飞机可以说尚处在实验阶段，但当战争结束时，飞机已成为现代战争中不可缺少的武器，它的运载能力、飞行速度有了很大提高。飞


民航飞机

机生产能力也大大增长，从战前的每年几十架达到战后的数千架甚至上万架。

战争结束后，军事需求的锐减迫使航空工业向民用方面寻找出路。在这方面有着两个有利条件：第一个是航空技术在战争中取得了很大进步，人们可以清楚地看到民用航空的光明前景。第二个有利条件是欧洲各国政府对民用航空事业的支持。航空技术已成为重要的军事技术；航空工业也成为重要的军事工业，在和平时期扶助民用航空是保持和发展航空工业实力的一个重要策略。



第一次世界大战后最先发展民用航空事业的是德国。在停战以后不到两个月，德国就建立了第一条国内的商业航线，即从汉堡到阿莫瑞卡。同年 2 月 5 日又开通了从柏林到魏玛的航线。3 月 1 日，柏林到汉堡间的航线开通。4 月 15 日柏林到法兰克福航线开通。1919 年一年德国共开辟了 9 条商业航线，运送旅客 1574 人次。1920 至 1921 年间又增开许多新航线，运送了 5500 人次的旅客和 500 吨货物，总航程达 100 万千米。

德国的航空工业由于不能研制军用飞机，于是转而研制民用客机。容克斯公司很快就生产出全金属的 F-13 客机，可装载 4 名旅客，飞行时速 136 千米。这种客机是当时欧洲最先进的飞机。德国通过该机大批出口，为本国航空工业的发展打下了物质和技术上的基础。

法国民用航空几乎是与德国同时起步的。法国政府设立了主持航空运输的专门机构，负责航空技术的研究、飞机的生产、空中的导航以及航空气

象方面的工作。与其他欧洲国家相比，法国官方对航空事业的支持是最为有力的。1919 年，法国航空公司共进行了 2400 次商业飞行，建立了 8 条航线，所有航线都得到政府的慷慨资助。

英国政府对本国民用航空的发展在相当长的一个时期内是袖手旁观的。直到 1921 年，英国政府才发现欧洲最重要的航线伦敦至巴黎的航线已被法国航空公司控制。经过国会中的长达几个月的激烈辩论，终于成立了一个“飞越海峡委员会”来处理这个问题。该委员会在英国航空大臣丘吉尔的领导之下，最终决定向经营伦敦至巴黎航线的英国公司汉德莱·佩季公司提供 25000 英镑的资助。



有了政府的支持，1923 年汉德莱·佩季公司在伦敦至巴黎航线上共运送了 7197 人次旅客。此外其他一些英国航空公司也投入到伦敦至巴黎航线的运营中来。1924 年，这些公司合并成立了帝国航空公司，成为英国第一家由政府支持、在全国占据垄断地位的航空公司，从而使英国在航空运输业的国际竞争中占有较大的优势。除了德国、法国和英国外，其他欧洲国家也纷纷发展起自己的民航事业。

现代民航机的需求与探索

民用航空的发展使欧洲各主要城市间都建立了航空运输线，一个遍布欧洲的航线网已经形成。据 1930 年的统计数据，欧洲民航最发达的是德国，它在 1930 年的客运量是 125000 人次；其次是法国，为 55000 人次；第三位是意大利，为 40000 人次；第四位是英国，为 30000 人次。之后的排名依次为：荷兰、瑞士、瑞典、俄国、捷克、波兰、奥地利、比利时、西班牙、

芬兰、匈牙利和南斯拉夫。当时欧洲的主要航线有 31 条，各种飞机 762 架。虽然欧洲民航事业发展很快，但几乎所有航空公司都得到政府的补贴，其中客运的补贴是最高的。

美国民用航空的起步晚于欧洲，航空邮政事业的发展促进了民航事业的发展。由于美国政府鼓励私人投资，所以民用航空领域生机勃勃。1929 年到 1933 年建立了 100 多条客运航线。但是这些航线的平均寿命只有 1 年左右，原因是没有适用的飞机。当时的客机载客量都很小，运输成本高，单纯经营客运的公司都亏损严重。在美国，由于政府只对航空邮政进行补贴，所以只有承包航空邮政运输的大公司才有能力用邮政收入补贴客运。可以说此时新型客机的问世已成为航空客运发展的关键。于是，潜在的市场力量引导着飞机向大载客量、高速度和更舒适的方向发展。

早在 1925 年，福特汽车公司的飞机制造部就推出了现代客机的雏型——全金属、三发动机的福特型客机。该机有 11 个座位。1927 年经过改进，座位数增加到 14 个，航程为 912 千米，飞行速度为每小时 170 千米。它从速度等方面与当时流行的木质飞机福克 F-7 相比，并无很大优势。然而，木质结构飞机有一个致命的弱点——安全性较差。正是安全性引导全金属飞机进入客机发展的主流。1931 年 3 月 31 日，一架美国环球航空公司的福克型客机坠毁。遇难者中有一位名闻全美的橄榄球教练，因而引起举国震动。全国上下一致指责环球航空公司和它的木质客机。这次空难从根本上动摇了公众对木质飞机的信心。各大航空公司纷纷转而订购福特全金属客机。飞机制造商们也加快了研制新型全金属客机的步伐。

1930 年，波音公司已经开始研制全金属客机——波音 247 型。它具有全金属结构和流线型外型，起落架可以收放，采用下单翼结构。机上装有两台功率为 410 千瓦的发动机，巡航速度 248 千米/小时，航程 7766 千米，载客 10 人，



波音 747

并可装载 181 千克邮件。机上座位舒适，设有洗手间，还有一名空中小姐。

波音 247 于 1933 年首次试飞成功。由于机上乘坐条件大大改善，且速度较一般客机提高了几十千米，所以很受航空公司欢迎，仅联合航空公司一家就订购了 60 架，价值 400 万美元。这是当时世界上最大的一笔客机交易，它使波音公司的生产线在一年内都处于饱和状态，无暇应付其他公司订货。波音 247 虽然具有全金属结构，但其载客量及经济性方面并不比木质飞机有实质的提高，因此虽然销路很好，但并没有改变民航运输的面貌。波音公司生产线的饱和和波音 247 自身的不足，终于引出了一个强大的竞争对手 DC 系列飞机。

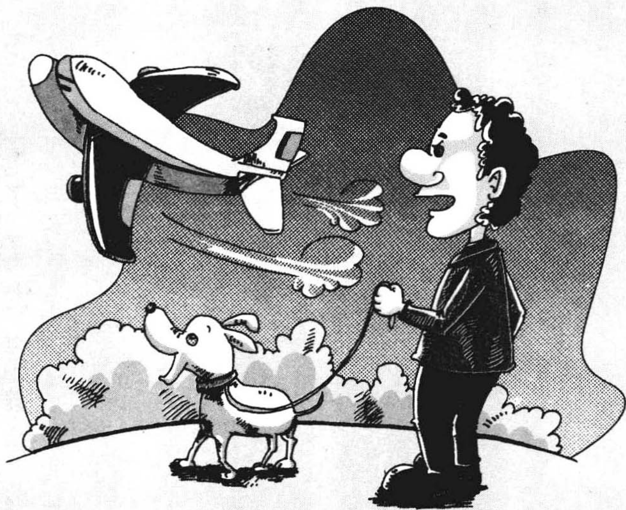
DC-3 客机的问世

美国环球航空公司在 1931 年空难事故后，被迫淘汰了所有木质客机，换用福特型全金属客机。但福特客机的性能明显低于波音 247，于是环球公司向各飞机制造商发信，招标设计新客机。1932 年 8 月 2 日，道格拉斯公司的总裁道格拉斯收到了环球航空公司的招标信。信中对新客机的设计提出了要求：全金属结构；装三个发动机；载客 12 人；航程 1600 千米；飞行速度在 230 千米～250 千米/小时之间；装有最先进的电子设备。



道格拉斯公司此时由于缺少订货、财政上正处于危急时刻，环球公司的招标信无疑是雪中送炭。两个星期以后，道格拉斯公司把方案送到了环球航空公司。对于该方案环球公司的领导人赞叹不已，但对双发动机方案表示怀疑。于是环球公司向道格拉

斯公司提出了一个十分苛刻的条件，即新飞机应能在环球公司的所有机场上用一个发动机起飞。道格拉斯公司考虑再三接受了这一条件。1932年9月20日，道格拉斯公司正式与环球航空公司签订了合同，1933年6月22日，新飞机的样机装配完毕，它被命名为DC-1。该机长18.3米，翼展25.9米，机身两侧各有一台530千瓦功率的发动机，巡航速度320千米/小时，航程1600千米。

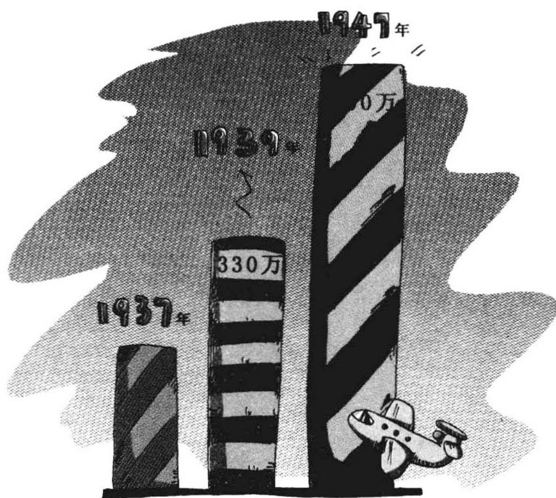


1933年7月1日开始，DC-1进行了为期6个月的试飞，各项指标均达到了要求。最后一项试验是单发动机起飞。试验地点选在了海拔1375米的温斯洛，这是环球公司海拔最高的机场。试验结果是DC-1不仅能顺利用单发动机起飞，而且只用一台发动机飞行了380千米，比同行的福特式客机提早15分钟到达了预定的降落地点。

环球公司买下了试飞的DC-1，并订货20架，但要求将座位数增加到14个。这个改进的飞机就是DC-2。它的机身比DC-1略长，发动机功率增加到每台567千瓦，航程仍为1600千米，巡航速度略低于DC-1，为每小时300千米。

1934年5月11日，DC-2首次试飞成功，5月19日便投入航线运营。由于性能优异，环球航空公司又把订货增加到31架。优良的性能使DC-2订货大增。这些订货不仅来自美国国内，而且来自欧洲和亚洲。美国陆军和海军也订购了63架作为军用运输机。

1935年底，道格拉斯公司把DC-2加长加宽，研制出著名的DC-3客机。它装有两台功率为895千瓦的发动机，巡航速度331千米/小时，航程3400



千米。载客量最多时可达32人。由于载客量较DC-2增加了50%，从而大大降低了单座运行成本，一举改变了航空公司经营客运亏损的局面，这是民用航空确立自己在商业上的地位的关键一步。正如美洲航空公司总裁所说："DC-3是第一架使客运也能赚钱的飞机。"

客运成本的降低，刺激了美国航空客运的发展。航空客运量自1937年后直线上升：1939年达到300万人次；1940年达到400万人次。可以毫不夸张地说，DC-3的问世是民用航空史上的一个重要的里程碑。

DC-3自1935年问世以来，共生产了13000余架，二战时期美国军方就订购了1万架（军用运输机编号是C-47和C-53)。DC-3是历史上产量最高的民航机，它在民航史上的地位也是空前的，它不但使民航终于在世界范围内确立了地位和声誉，还通过建立立体化交通运输体系使世界面貌发生了根本性变化。

知识链接

麦道公司。美国制造飞机和导弹的大垄断企业。1939年由詹姆斯·麦克唐纳创办，称麦克唐纳飞机公司。1924年第一次环球飞行由道格拉斯飞行器公司的飞机完成。其最著名的飞机为DC-3型运输机，这种飞机也被认为是飞行史上最重要的运输机。1967年，由于其过分扩展DC-9、DC-8和A-4的生产，道格拉斯公司的产品质量和资金链发生了问题。最终迫使道格拉斯公司同麦克唐纳飞机公司合并成为麦道公司。

6 喷气发动机的发明

第二次世界大战结束前，几乎所有的飞机均采用活塞式发动机。这种发动机体积大、重量大、功率小，结构复杂，可靠性差，而且由于必须依靠螺旋桨产生推力，对高速飞行极为不利。20 世纪 30 年代，英国人惠特尔和德国人欧海因各自独立完成喷气发动机的发明，从而开始了航空喷气时代。

喷气推进思想的产生

20 世纪初，火箭研究活动开始在美国、德国和前苏联展开。这些活动不仅最后走向了太空飞行，而且启发、促进和带动了一般喷气推进方式的研究。人们直觉地感到，反作用推进方式可以比螺旋桨更容易实现高速飞行。如果飞机上采用反作用推进方式，可以去掉螺旋桨和活塞发动机，大大减轻飞机重量。

最早关于空气喷气发动机的设想是法国人洛林在 1908 年提出的。他当时建议，在活塞发动机的排气阀上接一支喷管，利用从喷管向后喷射的燃气后作用力使飞机前进。1910 年，旅居巴黎的罗马尼亚人柯安达进行了最早的喷气式飞机的试验飞行。他用一台活塞发动机带动一支管道内的风扇转动，驱动空气向后喷出产生反作用推力。当年 11 月 10 日，柯安达用自己设计的飞机进行了一次短暂的试飞。


喷气飞机

第一次世界大战后，空气喷气推进方式受到越来越多的重视。技术专家提出了众多的方案和设想，并进行过不少试验。其中被研究最多的要算是这样一类设想：用活塞发动机驱动压气机工作，空气压缩后进入燃烧室与燃料混合燃烧，高压燃气最后进入尾喷管喷出。换句话说，这相当于在活塞式发动机基础上，又增加一个喷气推进装置，重量因此大增。这个设想最初由英国人哈里斯提出后，引起了不少人的重视，类似的方案提出了很多。



知识链接

意大利工程师坎平尼在 20 世纪 30 年代曾经设计过两种喷气式飞机，型号分别为 CC1 和 CC2。前者在活塞发动机基础上增加了压气机、燃烧室、尾喷管等喷气推进装置。后者在活塞发动机基础上增加风扇，并设有加力燃烧室。CC2 在 1940 年被意大利卡普罗尼公司制造并试飞成功，成为最早的喷气式飞机之一。

飞机的速度、高度和载重量都与飞机的动力密切相关。在 20 世纪最初的 30 年中，人们为改进这种发动机付出过巨大的努力，并在燃料、结构、材料冷却方式等方面取得过大量的成果。这些改进使航空发动机的性能水平不断提高，其重量功率比在 30 年中下降了近 20 倍。活塞发动机在大大小小的改进中，效率不断提高，转速不断加快，结构日益复杂，加工日益精细，而所有这一切，在一定的技术背景下都有一定的限度。

此外，与活塞式发动机共同组成飞机推进系统的螺旋桨在 30 年代也暴露出其固有的弱点。螺旋桨的转速一般为 105 转/秒。随着飞机速度的提高，螺旋桨叶尖与空气的相对速度将首先到达音速，并产生激波，使效

率大大下降并有机毁人亡的危险。飞机的速度在30年代末达到500千米/小时～600千米/小时，此时螺旋桨的效率已经随着速度的提高而明显下降，这意味着不仅是发动机不能适应航空发展的需要，推进方式也必须要改变。

以上情况，正如前苏联设计师雅克夫列夫所指出的："从30年代起，就已经明显地看出，活塞式发动机和螺旋桨的飞机虽然有近50年的发展史，但此时却到了山穷水尽的地步了。"喷气推进思想已经建立，对喷气动力的需求与日俱增，剩下的艰苦工作是对这种新型发动机进行结构设计上的创新，使之完全达到实用化。

惠特尔发明喷气发动机

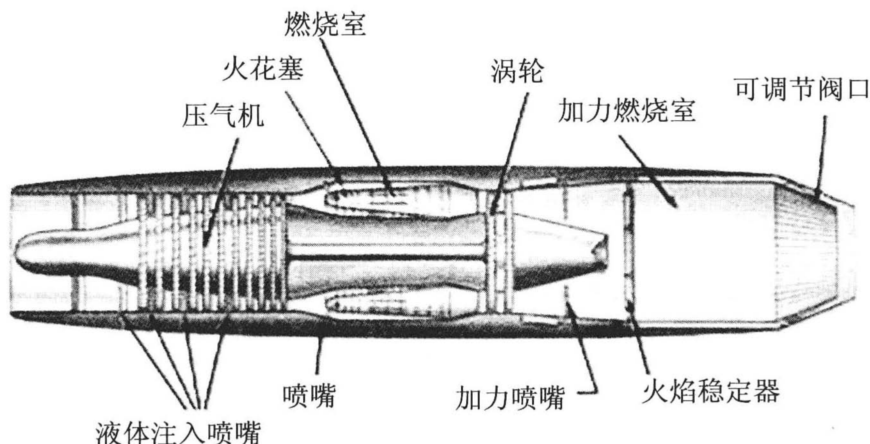


惠特尔于1907年出生于英国的考文垂市。1923年，惠特尔进入位于克兰威尔的英国皇家空军工厂当学徒。三年以后，他被选入皇家空军飞行学校学习。经过三年的学习和训练，惠特尔不仅成为一名合格的空军飞行员，而且对整个航空技术有了相当全面的了解。惠特尔十分向往更高更快的飞行。惠特尔在最后一个学期中，写了一篇论文《飞机设计的未来发展》，着重讨论了火箭喷气发动机和涡轮螺旋桨发动机这两种新的动力形式。

毕业之后，担任飞行教官的惠特尔在工作之余，常常思考新的航空动力问题。1929年底的一天，他突然产生了这样的思想：在哈里斯设想的喷气推进方案中，"为什么不增加压气机的增压比，并用一个涡轮来代替活塞发动机呢？"这是一个十分重要的思想。长期以来，研究喷气推进的人苦于产生压缩空气的系统太重，又不知如何减轻；研究燃气轮机的人又没有

人设想利用它来实现喷气推进。惠特尔的新思想的价值在于，他把这两种一直独立的技术结合在一起。这一新方案的出现是他走向成功的开端，也是喷气发动机原理诞生的标志。

惠特尔的想法引起了当时任飞行学校校长鲍德温的重视。在他的鼓励下，惠特尔设计了一台喷气发动机。这个设计先被交到英国航空部，最后被转给皇家飞机研究院发动机部的格里弗斯博士审阅，但没有得到应有的重视。惠特尔的方案被否定了。



涡轮喷气式发动机

在朋友的劝说下，惠特尔于1930年1月16日向英国专利局申请专利并获批准。这项专利没有被列为保密项目，于1932年公开发表。

1931年，惠特尔在整整一年时间里东奔西走，试图说服航空发动机企业研制这种新型发动机，但没有得到任何结果。1935年3月，惠特尔在一家银行的资助下组建了喷气动力公司。1935年底，惠特尔设计了第一台试验机，定名为WU试验机，设计推力8.8千牛。由于轴流式压气机还不够成熟，惠特尔选择了离心式单级双面压气机，涡轮为一级轴流式。此外还有一个很大的、几乎环绕发动机一周的单管燃烧室。

1937年4月12日，WU试验机首次试车。这次试验被看成是涡轮喷气发动机诞生的标志。资金、设备的缺乏和经验的不足，使试验遇到了重

重困难。首先是发动机一再失控。当失控原因找到并且基本排除时，发动机已经由于机械故障受到了严重的损坏。



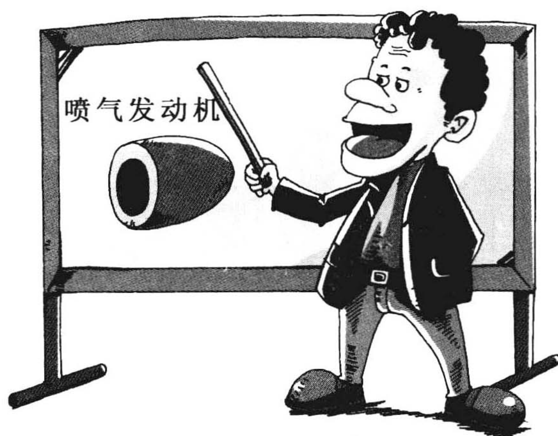
英国军方在惠特尔第一台试验机运行后，开始给予财政上的支持。第二台试验机由于涡轮叶片的损坏很快就被放弃了。第三台试验机与前两台相比，在结构上有了比较大的改进。由于大型燃烧室的压力、温度和流场都不易控制，惠特尔用 10 个分管燃烧室取而代之。除燃烧室以外，惠特尔对压气机和涡轮也进行了一些改进。

1938 年 10 月，新的试验机组装完毕。这台发动机实现了 16500 转/分转速下的持续运行，这是一个重大的成功。1939 年 6 月，英国军方终于认识到惠特尔工作的意义，决定与惠特尔签订试飞发动机的研制合同。试飞发动机定名为 WI 型。飞机的设计和制造工作由格罗斯特公司承担。

发动机燃烧室的性能始终不能令人满意。为保证适当的燃油空气比，惠特尔试制了 30 多个汽化器，都由于供油效果不佳而失败。这时，出于兴趣而常来观看惠特尔工作的工程师卢保克在了解到这一困难之后，研制出一种特殊的雾化喷嘴，燃烧室的性能大大改善。困扰惠特尔多年的问题终于得到解决。

WII 发动机由罗弗尔公司生产。英国第一架喷气式飞机由格罗斯特公司设计，被命名为 E28/39。1941 年 5 月 15 日，天气晴朗，在布罗克沃斯机场，格罗斯特公司首席试飞员萨伊尔驾驶着英国第一架喷气式飞机 E28/39 腾空而起。英国虽然获得了研制成功世界第一台涡轮喷气发动机的荣誉，但第一架喷气飞机却诞生在德国。

欧海因独立发明喷气发动机



德国涡轮喷气发动机的发明人汉斯·冯·欧海因从1933年开始思考实现空气喷气推进的途径，当时他还是哥廷根大学的学生。他曾设想过不采用压气机的方案，但在进行具体设计时，便发现这是很难实现的。经过一系列挫折以后，他终于提出了与惠特尔式涡轮喷气发动机大体相同的方案。

1934年，欧海因开始进行初步工程设计，他选择的离心式压气机，设计压缩比为3.1，环形燃烧室和向心涡轮。估计这种发动机可使飞机的飞行速度达到800千米/时。初步计算结果表明，虽然发动机耗油率高一些，但重量却比活塞发动机轻得多。接着，在他的朋友，一位很有才能的汽车修理工和机械师哈恩的帮助下，一边加工一边修改设计，最后竟然把发动机制造了出来，而且全部造价压缩到竟不足1000马克。

当时欧海因正在做毕业论文。他把自己的方案交给指导老师波尔教授请求指导。波尔教授对他的设计表现出很大的热情，不仅给予具体指导，而且允许他利用学校的设备进行试验。欧海因也遇到了燃烧问题。正当他为此而情绪低落时，波尔教授却明确表示，他认为涡轮喷气发动机的设想在方向上是完全正确的，有很大的发展潜力。他恳切希望欧海因坚持下去，并且亲自为他联系可能合作的工业部门。

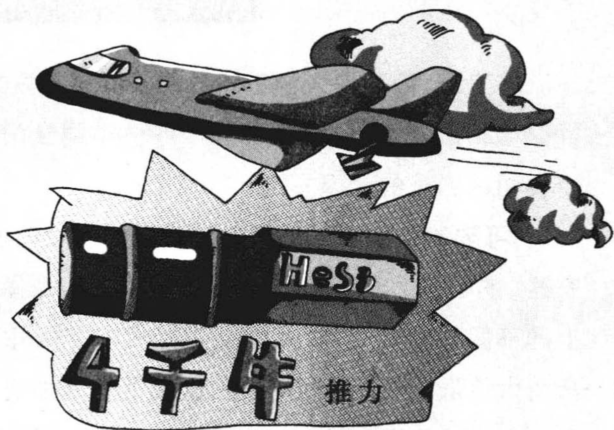
在波尔教授的推荐下，欧海因见到了亨克尔飞机公司经理恩斯特·亨克尔。当时德国空军刚刚成立，迫切希望提高飞机的性能。而亨克尔对高速飞行的兴趣又是十分浓厚的。在他的安排下，欧海因与该公司的工



程师们一起讨论了喷气式飞机的可行性。随后亨克尔下了决心，与欧海因签订了研制合同，并制定“特别发展计划”，准备研制喷气飞机。

欧海因决定先迅速研制一台技术风险性最小、结构最简单，但能体现其设计优越性的发动机。为达到这个目的，他除采用技术上比较成熟的离心式压气机和向心涡轮外，还选择了气态氢作为燃料。这台发动机定名为HeS1，于1939年2月底装配完毕。在台架试验中，它完全达到了预期的效果。虽然它的推力只有2.65千牛，却使亨克尔本人和公司的工程师们对涡轮喷气发动机的可行性深信不疑。

当HeS1还在制造时，燃烧室的研究就开始了。欧海因用了一年的时间，对燃烧室形状的选择、环形燃烧室火焰稳定的机理、燃料的供应与喷射方法等问题进行了系统研究，终于在1938年初研制出性能较好的燃烧室。



此后，欧海因开始发动机整机研制。为了提高压气机与涡轮效率，他对原有的设计进行了一系列改进。其中最重要的一个改进是在离心式压气机前装上了一级轴流式的压气机。装上压气机后，能使空气得到预先旋转，降低了空气流动损失。最后完成的喷气发动机定名为HeS3，推力为4千牛。

用于试飞的配套飞机于1937年底开始研制，1939年春制造完工，定名为He178。1939年8月27日，在第二次世界大战爆发前一个星期，由德国著名试飞员瓦西茨驾驶，亨克尔He178进行了首次飞行，从而成为世界上第一架试飞成功的涡轮喷气式飞机。

以He178和格罗斯特E28/39为标志，欧海因和惠特尔各自独立完成了涡轮喷气发动机的发明，揭开了人类航空史新时代——喷气时代的序幕。

7 第一架实用直升机 VS-300 诞生

直升机是一种能够垂直起飞和降落，能够向各个方向飞行的航空器，与固定翼飞机在许多方面都是很好的互补。20 世纪初，在飞机发明的同时，直升机研制也进入一个新的阶段。然而，与固定翼飞机不同，研制直升机具有许多当时难以克服的重大技术障碍。这些问题的逐步解决花了 30 多年，直到 1939 年才研制出第一架实用直升机。这就是西科斯基主持设计的 VS-300。

直升机的早期探索

18 世纪，俄国伟大学者和发明家罗蒙诺索夫，发明了与现代直升机飞行原理相似的“小空气动力机”。1754 年他专门向俄罗斯科学院汇报了这一发明。当天的记录写道：

“可敬的顾问罗蒙诺索夫讲解了他所发明的被他称为空气动力机（腾空器）的机器。这架机器利用普通钟表上的弹簧力使各组机翼在水平面上向不同方向转动，机翼就会把空气向下排开，这样，这架机器就升到了高空大气层中去了，利用装在这架空气动力机上的气象仪器就可以探明高空空气的情况。这架机器悬挂在一条支在两个滑车上的绳索上，绳索另一端挂着与之平衡的砝码。只要弹簧一上紧，机器就向上升起，这样就可以达到预期的目的。”

最早的直升机设计是由法国人波格顿在 1768 年做出的。他设计了一架由人力作动力的直升机模型，该模型具有两个螺旋桨，一个用于支撑，另一个则用于平衡。可惜由于结构与动力等问题，他的设计没有取得成功。

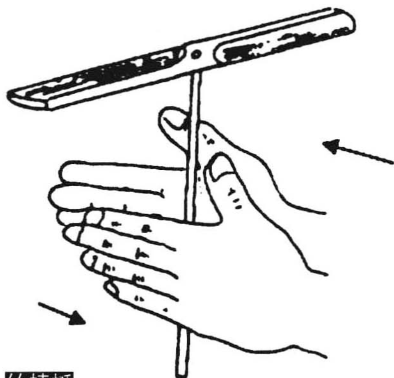
英国人乔治·凯利在 1796 年开始从事航空研究，为此他专门仿制并改进了“竹蜻蜓”。此基础上，他成功地制作了几个用弹簧作动力装置的直升机模型，其中有一架还成功地飞到了 27.5 米的空中，但由于这些模型都没有持续的动力装置，所以都只能作为玩具及进一步研究的基础。其后，

凯利又设计了一架由蒸汽作动力的直升机，但只停留在图纸阶段。

19 世纪后期，随着飞机研制热潮的兴起，也有不少人从事直升机设计，从事这一探索活动的有意大利人、英国人和法国人。

知识链接

意大利大画家达·芬奇是第一个明确阐述直升机飞行原理的人。他在 1483 年记下的札记中有一张飞行器草图，草图标明：这架飞行器的升力是由旋转着的螺旋桨所产生的。在这张草图旁边，这位学者写道："螺旋桨的骨架应该用像细绳子那样粗细的铁丝制成，从圆周到中心距离应该等于八肘（一肘约等于 60 厘米）。如果这种装置制造得很好，是用结实的帆布制成的，



竹蜻蜓

那么，我想，当螺旋桨迅速旋转时它将在空中划出一条旋转的迹线，并向上升起。当你用一根宽而薄的尺子劈开空气，那么你就会相信这一点了，这时，你的手会感到尺子侧面方向的压力。帆布应该固定在用长而细的芦草秆制成的骨架上，可以用纸来做一个小模型，这个模型的轴和上紧的金属弹簧相连，如果弹簧松开它就会迫使螺旋桨转动起来。"

直升机的技术探索

从早期的直升机事业的探索中，可以看出有这么几个问题：一是如何保持直升机的结构重量和发动机重量达到这样一个值，以使其能够举起自身及一些有用载荷；二是如何平衡旋翼旋转所产生的力矩；三是直升机的飞行控制问题。这三个问题构成早期直升机发展的关键。正是这三个问题的逐步解决，才促进了直升机技术的不断完善。

1903年飞机诞生，在飞机发展的大潮中，直升机探索也在加紧进行。1904年，法国人瑞纳德制造一架横列双旋翼直升机，采用内燃机作为动力。为克服旋翼升力所造成的对桨毂产生很大的力矩问题，他将旋翼根部用插销的方式连接在旋翼轴上。这样，旋翼在旋转时，桨叶本身可以上下摆动（挥舞），从而使桨叶根部和桨毂不会承受很大的力矩。

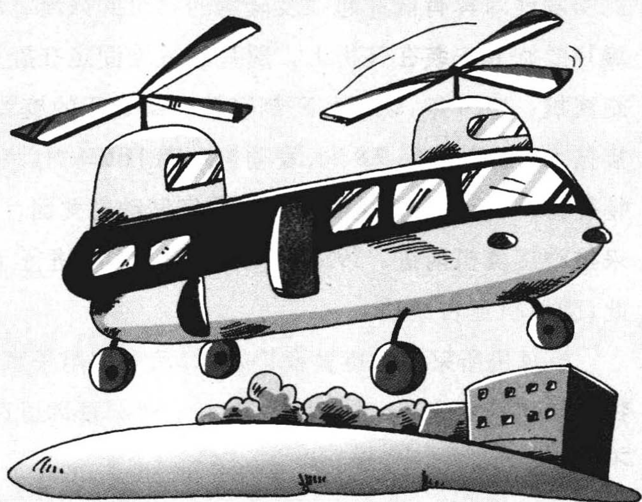
1907法国人布雷盖和里歇制造了一架重578千克的直升机，利用40马力内燃机作为动力。它具有四个主旋翼，直径为8.1米。这架飞行器与其说是直升机，倒不如说是一个直升实验装置更合适。在1907年9月29日进行试验时，为防止它翻个，每个旋翼下方各站一个人，托住机身并限制它的升空高度。这个装置只上升了约0.6米，持续时间1分钟。接着他又制造了两架直升机，均因操纵问题而失败。于是布雷盖转向了固定翼飞机研制。

同年，另一个法国工程师科努也研制了一架直升机。它有两副前后安装的旋翼，直径6米，通过反方向旋转来克服力矩问题。发动机采用一台24马力的安东尼特水冷活塞发动机。直升机总重203千克。为实现方向控制，他在每副旋翼下面安装一个可动的平面，通过控制平面的倾斜角度来操纵其飞行。1907年11月13日，科努驾驶这架直升机首次进行了升空飞行，离地约0.3米，留空时间20秒，成为第一架有人驾驶自由飞行的直升机。

1909年美国埃米尔·伯林纳和亨利·伯林纳父子制造了一架同轴双旋



翼直升机，安装两台发动机。这架直升机在没有缆线绑住的情况下成功地进行了短暂的试飞。1922年，他们制造了一架横列双旋翼的飞行器。他们将旋翼相对于机身向前倾斜安装，利用旋翼产生的升力在水平方向的分量实现前飞。



1912年俄国人尤里耶夫建造了一架重200千克的直升机，这是世界上第一架只有一副主旋翼的直升机，并且配备了垂直安装的反扭矩螺旋桨。因为经济问题再加上第一次世界大战及俄国革命，他停止继续研究。

阿根廷工程师佩斯卡拉在战后制造了一架包含两个转向相反的共轴旋翼直升机，旋翼直径6.4米，每组有上下两个平面，每一平面有四个翼片。发动机功率180马力。这架直升机经过几次试飞及修改后，在1923年11月19日创造飞行距离736米的记录。

法国工程师奥米歇在1920年建造一架类似于科努所造的直升机，机身由一水平梁构成，梁的两端各有一副双叶旋翼，直径6.4米，由一台20到25马力的发动机通过皮带来带动。1923年5月，它完成了5分钟的悬停飞行，1924年5月又完成了1千米圆周飞行。

20世纪二三十年代，一种新的飞行器——旋翼机出现了。这是一种介于飞机与直升机之间的飞行器。正是为这种飞行器发明而运用的新技术后来应用到直升机上，才使真正直升机的发明成为可能。为此做出卓越贡献的是西班牙人切尔瓦。

切尔瓦在1919年设计过一架飞机，靠近地面飞行时因失速而坠毁。由

此引发他对具有低速起飞及降落的飞机的兴趣。1922年，他将一副五个翼片的旋翼安装在飞机上，翼片刚性地固定在旋翼轴毂上。这就是C-1旋翼机。1924年，切尔瓦研制了第一架真正的旋翼机C-4，运用了旋翼铰接技术。旋翼直径9.8米，发动机功率110马力。它还保留了飞机的一些特征，其飞行控制完全利用飞机的空气动力翼面，飞机原有的螺旋桨则用来推动旋翼机前进。1923年1月9日，C-4进行了成功的飞行试验。至此，旋翼机宣告成功。

旋翼机所采用的旋翼铰接技术，后来被用于直升机上，成为直升机独特的技术特点之一。这项技术突破，意味着真正直升机的发展已经为期不远了。

实用直升机VS-300的诞生

德国人福克是直升机发展史上的关键人物之一，他所发展的一系列横向双旋翼直升机不仅打破当时的很多记录，完成直升机史上第一次的自动旋转降落，同时对于直升机的应用也有相当的贡献。福克·沃尔夫公司于1934年建造了第一架直升机——福克61。该直升机旋翼直径7米，发动机功率160马力，全机总重950千克，直升机的方向由双旋翼循环倾角的不同来控制，纵向则由双旋翼相同的循环倾角控制，而其机身的滚动则由双旋翼集合倾角的不同来控制。而其垂直尾舵及水平尾翼则在前进飞行时用来控制其平稳性。

1937年5月10日，福克61成功地完成自旋降落，同年6月25、26日以2100米高度和100千米的直线飞行距离打破由布雷盖所保持的记录。


直升飞机

有了此次成功的经验，福克决定按照比例将其放大为较大型的直升机——FA223，并且得到政府的合同。1940年8月到

1945 年底期间，该机通过一系列官方正式的认证：最大飞行速率 182 千米/小时、爬升速率 8.8 米/秒、飞行高度限制 7100 米、自旋降落时的着地速率 55 千米/小时、最大重量 4414 千克、最大载荷


UH-60A 黑鹰通用直升机

1284 千克、最大垂直爬升及降落高度 2320 米和最长飞行时间 3 小时 42 分。1943 年，福克直升机开始用于战争。

西科斯基被誉为实用直升机之父。他在 1908 年夏天到德国旅行，因受到莱特兄弟成功飞行事迹的影响，引发他对直升机莫大的兴趣，同时亦开始他第一架直升机的构想，但由于难度太大，他于 1910 年放弃直升机而转向飞机的建造。1917 年，西科斯基移居美国。1931 年，他独自完成一架直升机的设计同时取得其专利。

西科斯基主持设计的 VS-300 直升机采用构架式结构。机身顶部安装着一个主旋翼，其下是一个四冲程的 100 马力富兰克林发动机，机身是没有蒙皮覆盖的钢管结构。机尾是三个螺旋桨，两个螺旋桨靠近发动机安装，一个垂直安装。飞行员的座位排在发动机前，起落架靠近发动机，它是一个交叉结构，前面有两个轮子，尾部由滑橇支撑。

1939 年 9 月 14 日，VS-300 由西科斯基本人亲自驾驶进行了绳系飞行，取得成功。当时的那几天，西科斯基几次驾驶它飞行，均安全着陆。但飞行中也暴露出一些问题，如存在很大的震动，于是，西科斯基根据试飞情况，开始对 VS-300 进行改进，以减少震动并实现各种情况下的飞行控制。

1940 年 3 月 31 日，西科斯基对 VS-300 直升机作了改进之后，又亲自驾驶它进行试飞。这次去掉了绳系牵引。这是其首次真正的自由飞行。一个星期后，西科斯基向一些前来观看的来宾介绍了 VS-300 直升机，并为他



们作了飞行表演。经过不断改进后，VS-300的速度可达每小时48千米～64千米，各方向的飞行与操纵能力良好。

1940年7月，著名的旋翼机试飞员格列高利到西科斯基公司所在地斯特拉福德市，驾驶VS-300进行了试飞。他认为VS-300是优秀的旋翼飞行器。于是他建议西科斯基将VS-300改为军用型。1940年12月17日美国政府经过评估，同意将VS-300改为军用型，并拨出50000美元作为资助，以帮助西科斯基公司制造试验型军用直升机。这架军用直升机定名XR-4，1941年12月7日建造完成，第二年开始试飞，其结果令军方非常满意。试飞表演之后，美国陆军总共订购了126架R-4直升机。

西科斯基完成了实用直升机的发明，开创了航空史上的一个新时代。目前，直升机在世界各地有5万多架，用于军用、经济、社会、文艺、商业、医疗等各领域，在执行与固定翼飞机互补的许许多多任务。

8 戈达德发明液体火箭

液体火箭是齐奥尔科夫斯基、埃斯诺·贝尔特利等火箭与航天先驱者所极力倡导的。但由于条件所限，他们没有完成液体火箭的研制，只进行了一些理论研究工作。20年代初，另一位航天先驱者、美国的罗伯特·H·戈达德终于研制成功了液体火箭，敲开了通向宇宙空间的大门。由于他的非凡工作的影响，很快在世界范围内，掀起了液体火箭研究热潮。

戈达德生平


戈达德

戈达德1882年10月5日出生于美国马萨诸塞州的伍斯特城的一个新英格兰后裔家庭。戈达德的父亲厄内姆·戈达德思想开明。他们家很早就安装了电灯，并买来当时还算是奢侈品的留声机。这两件东西使年幼的戈达德几乎完全着了迷。

戈达德在16岁以前都是在波士顿度过的。少年时代的戈达德体弱多病，常常不能上学。他的脑子里经常会冒出一些奇思异想。有一次，他带领几个小朋友试图花一星期时间挖一条通向中国的隧道。还有一次，他设计并准备制造一架永动机。戈达德一直对飞行十分向往。曾有一段时间，他计划制造一只能永久留在空中的铝制气球，但最后没有成功。

在高中学习期间，戈达德一直在思考太空飞行的实现方法问题，并且做了大量笔记录了随时出现在脑海里的新构思。大约在1901年12月，他写了一篇关于太空飞行的短文，送交给《大众科学月刊》杂志。文章谈到把几门大炮按蜂巢状安装在一起，可用来发射宇宙飞船，但这篇文章没有被发表。

1898年戈达德16岁时返回家乡并于6年后进入伍斯特综合技术学院。他把志向定在自己喜爱的物理学上。在伍斯特综合技术学院学习后期，戈达德已开始研究火箭，但只限于火药火箭，所做的工作是测量火箭的推力和飞行速度。1908年，他毕业并获科学学士学位，留在学校任仪表员。不久，他又进入克拉克大学攻读硕士学位。戈达德除了论文研究外，又开始思考火箭问题。这时他已经认识到火药火箭的缺陷。1909年2月2日，他在日记中写到："只有用液体燃料才能提供星际航行所需要的能量。"这是他最早的液体火箭思想。



1910年，戈达德以《衍射理论》论文获得硕士学位。第二年，他又获得了博士学位。这时，他已把所有精力用在火箭研究上。他在笔记本写下了大量研究心得、数学计算和公式推导，形成了火箭运动理论的初步框架。

1914年戈达德返回克拉克大学。1915年，戈达德在克拉克大学升任副教授。在克拉克大学工作期间，他一边教学，一边从事火箭的理论与实验研究。这期间，他得到了史密森研究院和古根汉姆基金会的资助，使之有能力从事火箭的设计试验。美国参加第一次世界大战后，在史密森研究院的强烈要求之下，美国政府委托戈达德研制火箭武器。戈达德在几个助手的帮助下，在加州的帕萨迪那威尔逊天文台一个车间里进行秘密试制。他们设计了两种火箭，一是发射距离较远，类似炮弹的火箭武器；另一种是短距离用发射管发射的反坦克火箭弹。1918年11月，戈达德和助手在马里兰州的一个试验场为美国陆军进行了反坦克火箭弹的发射试

验，表现出良好的性能。但他研究的火箭还没有批量生产，战争就已经结束了。

知识链接

美国 1941 年宣布参战后，曾努力发展火箭武器，戈达德也一度参与工作，但毕竟时间太短，他的研究成果未能在战争中得到应用。1945 年 8 月 10 日，在日本投降前 4 天，戈达德因喉疾离开了人世。航天史上的一颗巨星陨落了。

火箭运动理论的建立

戈达德在大学学习期间，一直在不间断地思考航天飞行问题，并写下了大量笔记。到 1909 年 12 月 28 日，他共写下了 26 种飞行方法的摘要，还有进入太空的意义、携带仪器的意义、从地球上发射的意义等。这些设想涉及火箭及航天的各个方面，有许多是航天新思想的首次阐述，包括多级火箭、液氢液氧发动机、离子喷气发动机、发动机冷却、太阳能推进、在火箭上加装翼面、失重与超重的影响等等。

戈达德参加工作并升任副教授后，工资有所增加，但这些钱用于科学实验仍显得微不足道。于是他向基金会求助。1915 年，他把他的专利和准备进一步研究的计划写成报告，送交各基金会。但不久他的申请报告就被一个个基金会退回了。最后报告递交给在华盛顿的史密森研究院时，他得到了该院 5000 美元资助。



戈达德把过去实验的结果进行了检查和分析，对许多问题进行了澄

清。他考虑到了火箭在发射过程中的变质量问题，火箭的质量比问题，通过推导计算出火箭达到期望高度所需的初始质量，估计每一种情况下火箭携带1磅载荷时的发射重量。进而他又计算出了火箭的逃逸速度为11千米/秒，指出只有液体多级火箭才能达到这个目的。然后，戈达德又进一步研究和实验了火箭的燃烧室，弄清了火药火箭不仅效率低，喷气速度小，而且推力极不稳定。这样到1917年，戈达德已有充分的论据证明，液体火箭才是宇宙飞行的理想运载工具。



在其后的6个月中，戈达德将过去的全部研究工作和取得的成果进行了系统总结，最后完成了一篇报告，题为《到达极大高度的方法》，递交给史密森研究院。1919年底，该院将其作为研究院论文发表。论文共分4章："简化运动方程至最简单形式"；"常规火箭的效率"；"把一磅载荷送到大气层各个高度所需最小质量的计算"；"把一磅载荷发射到无限高度所需的最小火箭质量"。戈达德在论文中建立了火箭运动的基本理论，指出火箭必须达到8千米/秒才能克服地球的引力。他讨论了固体火箭问题，利用固体火箭进行高空科学研究的问题。他通过计算列表给出了火箭到达各个高度时所要求的最小初始质量。最后，他又通过计算得出要发射一磅有效载荷（科学仪器）到达月球情况下，火箭所需的最小质量，以及验证火箭到达月球方法。他指出："即使有可能在某一个方向上把一块物质送入月球，但要证明这一点是一件很困难的事情。唯一可靠的方法应当是把某种发光物质在新月期间送到月球的表面，并采取某种方式使弹着点发光，它可以通过地球上的大功率望远镜看

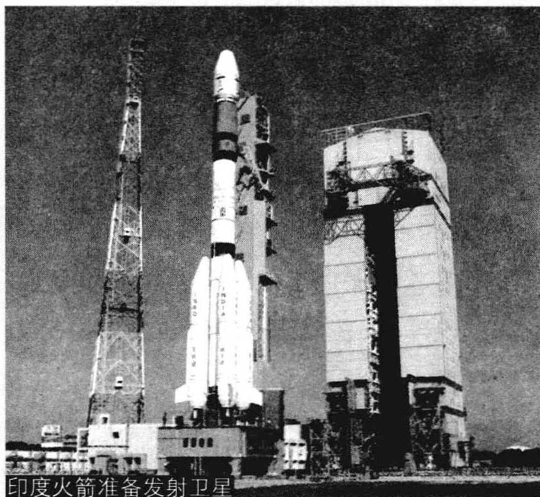
到。”他计算出了用一英尺望远镜能够“刚刚看到”和“明显看到”所需发光粉的质量。

在这篇论文的最后，戈达德指出：“把发光粉送到月球表面的计划，尽管是一件非常有趣的事情，但不一定有明显的科学意义。可是，在我们讨论的一般问题上已经取得了某些进展，包括许多这里还未提及的重要之点，它们必将引起科学上的兴趣。这方面的发展肯定有许多实际上的困难，但并不是建立在虚无之上。”

戈达德的这篇论文，是火箭运动与航天学重要的奠基性文献。它在航天史上的历史地位可与齐奥尔科夫斯基、奥伯特的论文相媲美。

液体火箭的发明

论文发表后，戈达德把精力集中在液体火箭研究上。他研究了液体燃料和液体氧化剂的贮存和输送方法，研究了各种可能的燃料包括丙烷、乙醚和汽油，最后选择了汽油。1921 年 12 月，戈达德完成了第一台液体火箭发动机的研制。第二年，他利用这台发动机在马萨诸塞州的沃德农场进行了大量静态试验，但结果并不是很满意。经过改进设计后，虽然有所提高，但燃料输送效果仍不理想。1925 年，他又试制出了第三台发动机。


印度火箭准备发射卫星

1926 年春，这台发动机连同火箭都已准备就绪。火箭总长约 3 米，顶部是 0.6 米长的发动机，它连接了两个串联推进剂贮箱，用两个长约 1.5 米的细管将液氧和汽油传送到燃烧室中，输送方式是高压氮气挤压法。3 月 26 日，戈达德和妻子以及两个助手在沃德农场进行了世界上第一枚液体火



箭的发射试验，取得了很大成功。戈达德在报告中描述了火箭试验的情况："火箭试验在下午 2:30 分进行。经过 2.5 秒后，上升高度达 12 米，飞行距离达 56 米。"虽然这枚火箭并不理想，但它开创了人类航天的新纪元，打开了液体火箭技术的大门。

这次试验成功后，戈达德又对火箭结构进行了改进：把发动机放置在火箭的尾部，采取了保持火箭稳定飞行的措施。同时，他对发动机的燃烧室进一步改进使之能提供最大的燃烧效率。1929 年 7 月 29 日，戈达德的 3.36 米长的新火箭进行了试验。它的头部装有气压计、温度计和照相机。照相机对准两个仪表，当达到最大高度时，降落伞的弹射开关同时打开相机快门，这样便可记录到火箭在最大高度时大气的温度和压力值。这次试验火箭的飞行高度为 32 米，水平方向飞行了 53 米。降落伞装置保证了仪表在落地时没有损坏。

1929 年，在美国飞行英雄林白的努力下，戈达德的液体火箭研究得到了丹尼尔·古根汉姆基金会的资助，这位向来热情支持航空事业的慈善家给克拉克大学拔去 10 万美元供戈达德使用。为使他能集中精力工作，克拉克大学特别批准戈达德两年的研究休假。

戈达德新一阶段的工作主要是研究火箭的可靠性，其次是探索火箭的飞行控制方法。几个月后，他研制了一枚长 3 米左右，重只有 16 千克的火箭。它的发动机可产生 136 公斤的推力，工作时间 20 秒。1930 年 12 月 30 日，这枚火箭在发射试验时，飞行了 600 多米高，最大速度达到 800 千米/小时。这是一个相当了不起的成就。



戈达德采用的火箭控制方式是在发动机喷管中加装燃气舵。当它发生偏转时，可控制喷气的方向和推力矢量，达到火箭飞行姿态操纵的目的。为了控制这个燃气舵，他采用小型陀螺仪感知火箭姿态的变化，然后由操纵机构控制燃气舵的偏转。这是一种保持火箭稳定的自动控制系统。1932年4月19日，第一枚具有这种陀螺稳定系统的火箭进行了试验。结果发现燃气舵的作用不够明显，因而需要进一步改进。

从1935年开始，戈达德又通过反复设计和试验，认真考察了火箭发动机的燃烧室和喷管、燃料输送系统、降落伞回收系统，尤其对燃烧室的冷却作了大量研究，并进行了大量的静态和发射试验。其中有的火箭达到了2700米的飞行高度。

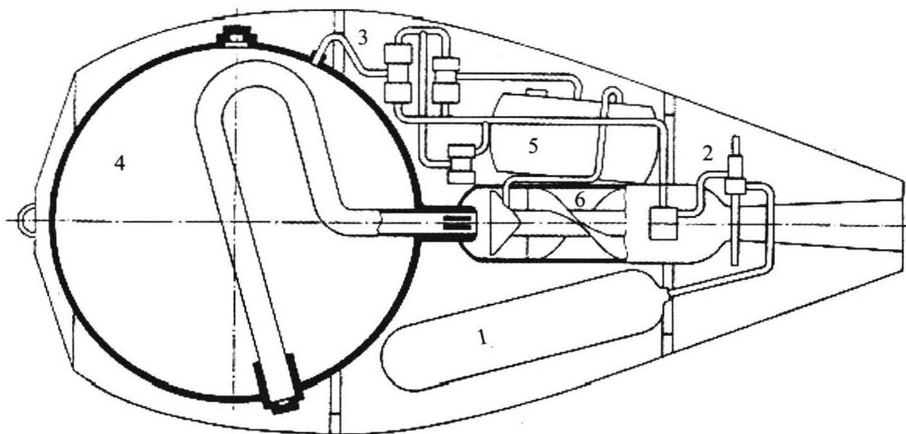
戈达德不但发明了液体火箭，而且还对火箭技术发展做出了很大贡献。他本人获得了极高的荣誉，许多大学授予他名誉博士或教授称号。今天，航天事业已取得了巨大的成就。在短短的几十年内，人类在航天领域里已经实现了戈达德在20世纪初提出的设想。正如他1914年在一次演讲中所说的那样：“很难说什么是不可能的，因为过去的梦想即是今天的希望，明天的现实。”

9 德国V-2导弹的诞生

20世纪二三十年代，德、美、英、苏等国涌现出一批火箭研制团体，发射成功一系列试验型液体火箭。德国军方为了扩军备战的需要，将火箭武器作为重要的发展方向。在德国政府的支持下，德国陆军率先将火箭武器推向实用化，研制成功著名的V-2弹道式导弹。V-2导弹虽然在战争中没有发挥很大作用，但却为战后航天运载火箭的研制奠定了重要的技术基础。

德国液体火箭研究

德国最初的液体火箭研究来自于民间团体德国星际航行协会。该协会是奥伯特的著作《飞往星际空间的火箭》激发的结果。它的创始人是温克勒和法利尔等人。该协会于1927年6月5日在德国工业城市布莱斯劳的一家旅馆里召开了成立大会，会议推举温克勒担任主席。会议确定协会的宗旨是：验证并应用奥伯特的理论，进行火箭与太空飞行的理论和试验研究。



HWK 109-500火箭的主要构造：压缩空气罐(1)(共5个)，阀门(2)，减压阀(3)，装过氧化氢溶液(T剂)的T罐(4)，装高锰酸盐溶液(Z剂)的Z罐(5)，燃烧室(6)



为了扩大影响并在公众中宣传航天思想，协会决定编辑出版一本介绍太空飞行知识的著作《太空飞行的可能性》。著作出版后，得到热烈反响，又吸引一批年轻人加入到协会中来，其中就有当时只有19岁，还在柏林工业大学学习的冯·布劳恩。

协会主席温克勒从1925年即开始研究火箭推进问题，后来又开始设计液体火箭。他和助手设计的第一枚火箭是HW-1号。它的三只直立的管子分别装高压氮气、液氧和液化气。上端连接了一个燃烧室。高压氮气用于将推进剂注入燃烧室。这枚火箭重3.18千克。1931年2月12日，这枚火箭发射时，只上升了大约2米便一头扎进了大海。1931年3月14日，火箭在第二次试验时，成功地飞行到300多米的高度。这是欧洲第一枚试验成功的液体火箭。但他在研制第二枚液体火箭HW-2时却遭到失败。

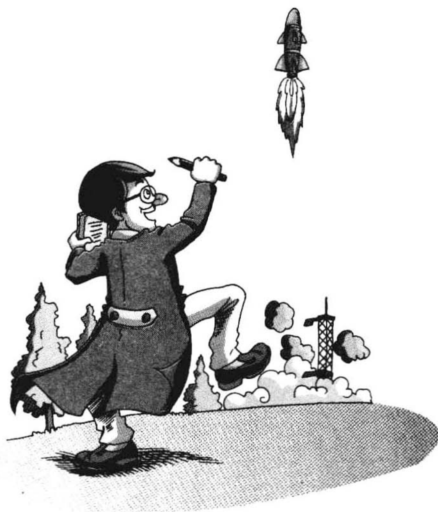
协会成立初期，由于经费来源比较困难，进行的工作很分散。为了节省资金，他们千方百计购买废旧的部件和材料，进行力所能及的试验工作。协会骨干成员计划先从小火箭做起，第一枚小火箭由内贝尔设计。

小火箭同火药火箭外形非常相似。它由一个圆筒和一个直杆组成。直杆起稳定和作为汽油箱双重作用。圆筒由铝制成，其内部是空心的，起液氧贮箱作用。液氧通过顶部的阀门注入燃烧室。头两枚在1931年春天试验时都发生了爆炸。他们又决定研制第三枚小火箭。第三枚小火箭在首次点火发射时，只上升了约20米。虽然不很理想，但却极大地增强了会员们的自信心。经过修复后，小火箭于1931年5月14日进行第二次发射试

验，飞行高度约60米。

继这次成功之后，他们决定研制新液体火箭“推进器”。推进器2号的发动机是新设计的，仍采用高压氮气注入方式，安装了性能更好的燃料阀。1931年5月23日，推进器2号点火后，起飞不久便倾斜，经过一段时间的飞行后冲向一棵大树。实际测量表明，这次试验火箭飞行了5.4千米。推进器3号在试验中，上升了1600多米。

1931年8月，新设计的单杆推进器首次试验便上升了1千米，降落伞正常打开，火箭安全着陆。以同样的发动机又制造了一枚更大的火箭，可以加装更多的推进剂。这枚火箭在试飞时，达到了1650米的最大飞行高度。10月17日，推进器在另一次试验时，上升了1500米高，飞行了1千米远。这枚火箭取得了极大成功，也使协会的名声很快被外界所知。一家电影公司专门派出一个拍摄小组前来拍摄火箭飞行的镜头，在德国公众中留下了深刻印象。



知识链接

德国星际航行协会在活动的5年内，作了大量开拓性的努力。他们的献身精神在技术史上是少有的。爱因斯坦的女婿马利亚诺夫后来说：“印象最深的是他们的工作热情。他们大多数都是在军事部门受过训练的军官……他们生活得像隐士一样。他们没有一个人当时结了婚，没有一个人喝酒或抽烟。”在短短的5年内，德国星际航行协会共举办了23次火箭和太空飞行展览，进行了270次火箭发动机点火试验，进行了87次火箭发射试验。

德国陆军进行火箭研制

作为第一次世界大战战败国的德国，《凡尔赛条约》限制其发展作战飞机、坦克、大炮和机枪等军事装备。事隔几年，盟国在《凡尔赛条约》的某些条款上有了松动。例如，1922年，盟国允许德国生产一定数量的民用飞机，允许有一定规模的飞机工业。1926年，《巴黎航空协定》取消了对德国生产民用飞机的限制。于是，德国开始大规模建立飞行俱乐部、航空企业、民航航线以及训练空地勤人员。结果使德国航空技术迅速发展，为发展军用飞机积蓄了力量。



从20年代末开始，陆军炮兵局抽调专人研究火箭的未来发展潜力和用于现代战争的可能性。德国火箭技术发展的主要官方支持者是陆军炮兵局研究与发展部主任卡尔·贝克尔。他在1929年秋领导研究与发展部开始探索喷气推进问题、以及火箭用于运载炸弹的可能性。刚刚取得工程硕士学位的年轻军官多恩伯格上尉被指派负责具体研究工作。

贝克尔和多恩伯格在柏林附近陆军的库莫斯道夫炮兵试验场开始了艰苦的探索工作。当时德国星际航行协会还在进行研究工作，多恩伯格专门去访问过几次，目的是从那里了解一下液体火箭研制的情况，同时也暗访能加入他的研究计划的合适人选。最后，多恩伯格从德国星际航行协会选了四个人：冯·布劳恩、鲁道夫·内贝尔、克劳斯·里德尔以及瓦尔特·里德尔。1932年底，多恩伯格火箭研究小组的架子基本搭成。在研究人员组成上，

多恩伯格、冯·布劳恩、瓦尔特·里德尔和海因里希·格鲁诺4人构成领导和技术核心。

他们的第一项工作是设计推力为600磅(272千克力)的液体火箭发动机。这项工作由冯·布劳恩主持进行。1933年1月,一台发动机进行了静态点火试验,取得了成功,发动机工作了1分钟,产生推力为140千克力。与此同时,开始设计第一枚试验火箭A-1和改进型A-2。1934年10月1日,A-2火箭静态试验型组装完毕。1934年12月初,两枚A-2火箭在北海岛进行了发射试验,这两枚命名为马克思和莫里茨的A-2火箭达到2.4千米的飞行高度。



A-2火箭的成功给多恩伯格和冯·布劳恩以很大信心。他们一方面准备研制更大的试验火箭A-3,另一方面着手兴建大规模、完全封闭的秘密火箭研究基地。1935年12月,他们在巴尔干海岸发现了一个小渔村,这里人烟稀少,气候适宜,加之靠海,交通和发射火箭都很方便,且利于保密。到1936年3月,该研制基地的基本设计蓝图已勾画完成。1938年,这个基地终于投入建设并很快完成,整个建设工作共耗资3亿马克。这就是著名的佩内明德火箭基地。这个基地的设施和人数后来不断发展壮大,最高时总人数达17000人。

A-3和A-5都属试验火箭,发动机都是推力1500千克力,工作时间45秒的火箭发动机。1938年夏,第一枚不带制导控制系统的A-5火箭在试飞时取得了初步的成功。1939年秋,第一枚装有制导系统和降落伞的A-5

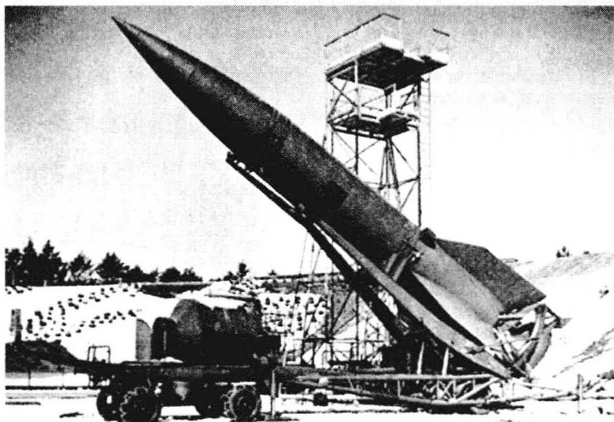
火箭试验取得了高度成功。1939～1940年仅一年时间，A-5火箭就进行了25次发射，试验了3种制导系统，取得了很大成功，为A-4火箭设计提供了重要依据。

实用A-4导弹的研制

试验火箭先后试验成功后，下一步就是研制实用的火箭武器。以德国陆军一战时的著名武器“巴黎大炮”的性能作为参考，提出火箭武器的性能指标：携带1吨炸药，飞行距离250千米。这样，实用性A-4导弹的基本参数就可计算出来：发射重量为12吨，发动机推力25吨，工作时间65秒，可携带8吨推进剂。

总体性能参数确定后，他们又计算了A-4火箭的技术参数，包括发动机推力、燃烧时间、质量比，研究了火箭的制导与控制、结构设计等问题。新的火箭技术性能大大超过了A-3和A-5，要跨越很大一个台阶，涉及大量的基本理论和实验技术问题。

第一项重大问题是A-4的空气动力学设计。A-4不仅有气动稳定性问题，而且还遇到全新的超音速气动力学以及气动加热问题。带着这个难题，他们找到亚琛技术大学。该校的维塞尔伯格教授和赫尔曼博士曾建造了一个10×10厘米的风洞。在这两位专家的帮助下，首先进行了A-3比例模型风洞试验，然后又对A-4进行了系统试验，解决了气动设计难题。



A4即V2，是由德国火箭专家冯·布劳恩为首的小组在波罗的海港口佩内明德研制的A系列远程火箭的一种

A-4火箭的另一个重大技术问题是制导和控制系统。控制系统的设计是按着A-4预



定的飞行弹道进行的，必须有合适的飞行控制系统。整个控制系统的核心是安装在弹头和贮箱之间的惯性陀螺平台，它上面安装了两个自转轴垂直安装的三轴陀螺仪，一个自转轴与火箭纵轴重合，另一个陀螺仪自转轴与火箭纵轴垂直。A-4 首次应用了平台式惯性导航系统。

A-4 火箭第三个重大技术问题是研制大推力的火箭发动机。为了提高燃烧效率，A-4 发动机燃料和氧化剂是在高压下对喷进入燃烧室混合。喷注器共有 18 个喷箭，这样可以使推进剂充分雾化，高效燃烧，缩短燃烧室长度。从 1942 年春开始，由于遇到燃烧不稳定性问题，泰尔设计了一种隔板，使火焰在喷管前不远处进行。

完整的 A-4 火箭长 14.03 米，最大直径 1.66 米，底部连同稳定尾翼在内最大宽度为 3.56 米。头部锥形弹头长 2.01 米，装有一个撞击式引信。弹头与贮箱之间是控制设备舱。贮箱段上端为液氧箱，下端是酒精箱，分别装 5 吨液氧和 3.5 吨酒精。贮箱下面是发动机组件。四片对称安装的稳定翼长 3.95 米，它的外侧有一个小小的可动操纵面。A-4 火箭的起飞重量约 12.5 吨。

按照设计，火箭垂直起飞后，即按预定程序朝目标方向偏转并在预定速度时（大约飞行 60 秒）切断发动机推进剂输送并关机，然后火箭继续向目标飞去。它的飞行高度可达 96 千米，最大速度可达 1600 米/秒，飞行总时间 320 秒，最大射程 320 千米，圆概率精度为 5 千米。



1942年6月13日,第一枚A-4火箭在试验时失败。1942年8月16日进行的第二次发射试验取得了部分成功。1942年10月3日,第三枚A-4火箭发射。当上升了54秒后,发动机按程序停车,火箭开始自由飞行。最后,火箭上升到85千米高,飞行距离190千米,离目标距离4千米。

这是火箭及航天史上具有重要意义的事件。多恩伯格在当天晚上举行的庆祝会上发表演讲时兴奋地说:“我们的火箭今天达到了近60英里的高度,因此打破了先前由巴黎大炮神话般地发射炮弹所达到的25英里高的记录——我们利用火箭进入了太空,并且首次利用太空为地球上的两点架起了桥梁;我们证明了利用火箭原理进行太空飞行是切实可行的,这在科学技术史上有着决定性的意义——这是宇宙航行新纪元的曙光。今天,1942年10月3日,是人类旅行乃至太空飞行新时代的第一天。”

随着德国在战场上的失利,德国军方匆忙将A-4火箭武器(改成V-2)投入战场。从1944年9月6日到1945年3月27日,德国共发射了3745枚V-2导弹,其中有1115枚击中英国本土,2050枚落在欧洲大陆地区。V-2袭击英国共炸死2724人,炸伤6476人,对建筑物的破坏也相当大,显示了V-2的威力,但并没有起到纳粹德国希望的那种能挽回败局的战果。

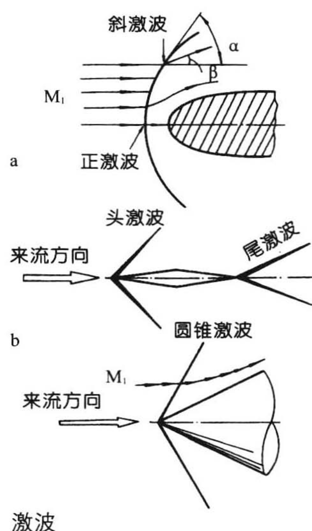
由于德国火箭专家的努力,在第二次世界大战期间,德国火箭技术达到了世界液体火箭技术的最高水平。战后,德国火箭技术的转移形成了许多国家发展航天技术的重要基础。美国、前苏联、法国、英国、甚至中国都从德国火箭技术中获得了相当大的利益。

10 耶格尔首次突破音障

20世纪40年代后期，喷气发动机技术逐步成熟，飞机材料的进步和气动设计的完善，使飞机达到更高的飞行速度成为可能。但是，飞机速度进一步提高，以至于接近音速时，空气动力特性发生重大变化，产生所谓“音障”。1947 年美国贝尔公司 X-1 火箭试验机率先突破音障。此后不久，涡轮喷气飞机也突破了音障，人类进入了超音速时代。

什么是“音障”和“激波”

空气是可压缩的，宏观上表现为空气的弹性。当飞机在空气中飞行速度不大时，一般都假定空气不可压缩，可以简化分析与计算，结果也不存在很大误差。20世纪头40年飞机的速度不高，可压缩空气动力学研究难度大，理论研究大都采取这种假设。30年代末到40年代初，曾有许多高速战斗机在俯冲时由于速度达到近音速使阻力剧增，升力锐减而导致失速或失控，甚至发生灾难性事故，因而可压缩空气动力学的理论研究和试验工作全面展开，开始了空气动力学的高速时期(或可压缩时期)。



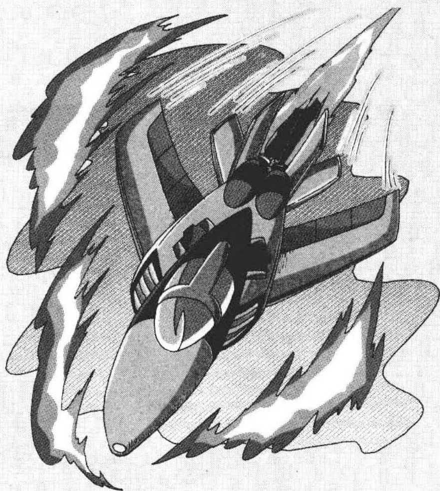
激波

在空气动力学研究中，不可压缩与可压缩特性究竟有什么本质不同呢?

我们知道，飞机在空气中飞行时，机身前部和机翼前缘会对前面遇到的空气粒子产生压力。在稠密大气中空气可看做是连续性的，这个压力会向前层层传播。在不可压缩流体中，压力传播都在瞬间完成，如同空气本身是一个整体一样。在可压缩流体中，每一层空气传播压力都会有一个缓冲时间，即飞机对空气的扰动需要有一定时间才能传向远方。换句话说，不可压缩空气与可压缩空气的主

要差别在于,对前者而言,压力强度变化的传播速度为无限大,而对后者传播速度则有限。显然,不可压缩的假设是不合理的。

在空气中,飞机头部和机翼前缘对空气的扰动导致的压强变化会沿各个方向传播,传播速度与空气密度等因素有关。声音是一种机械振动,它在空气中产生的压强变化传播的速度就是音速,也与空气密度等因素有关。二者传播的物理机制和影响因素完全一致,速度值也相同,因此常用音速来衡量飞机飞行速度。飞行速度与音速的比值称为马赫数。



声音的传播速度与介质的密度和温度有关。随着高度的升高,空气的密度逐渐减小,因此音速在各个高度上是不同的。海平面的音速值最大,为每秒 340 米,也就是每小时 1224 千米。到了 11 千米高空,音速值降为每秒 296 米,即每小时 1066 千米。在空气动力学领域,经常会看到亚音速、高亚音速、跨音速、超音速和高超音速等概念,都是飞机飞行速度相对于音速的大小而言的。

在可压缩气流中,飞机扰动引起的空气压强变化向前传播的速度是有限的。飞机的飞行过程中,不断对空气产生新的扰动,这些扰动引起的压强变化会在飞机前方积累,从而导致空气密度发生变化。在 0.3 倍音速以下,密度的增加约在 5%左右,可忽略不计。飞行速度进一步增大,密度的变化非常显著。当速度进一步提高以至于接近音速时,由于飞机对前方空气扰动导致的压强变化会层层积累,于是在机前很短的路径上,空气密度会急剧增大。飞机与前面的空气骤然相遇,空气遭到强烈的压缩,密度急剧增大,仿佛一面致密的空气墙壁挡在飞机的面前,成为一个难以逾越的

障碍，因此被称为“音障”。与“音障”相伴的是所谓的激波，它会给飞机带来巨大的激波阻力。要想突破“音障”，既要求飞机有很高的结构强度和完美的气动设计，又要求大推力发动机。这一任务最早落到了火箭飞机头上。

火箭飞机的发展



20 世纪 30 年代液体火箭研究在欧美形成高潮之时，不少人开始研制火箭飞机。前苏联航天先驱者科罗廖夫是前苏联火箭飞机的热情倡导者。科罗廖夫把火箭飞机作为喷气推进研究小组的重要项目，亲自领导研制。他认为火箭飞机是航天飞行的必经阶段。1932 年至 1938 年，他领导研制了装固体火箭发动机的试验飞机。

1942 年，科罗廖夫根据格鲁什科研制的 8960 牛推力的发动机，提出了火箭截击机设计方案。这是一种双座飞机，最大推力为 13 千牛，总重 2500 千克。它的最大速度可达 1000 千米/小时。由于火箭发动机所带燃料很少，它只能工作 30 分钟左右。1942 年 5 月 15 日，这架截击机进行了首次试飞。1943 年 3 月 27 日第二次试飞时，发生机毁人亡的惨剧。

在德国，三四十年代有不少人研究火箭飞机，而且德国是二战结束前世界研制火箭、火箭武器，乃至火箭飞机取得成就最大的国家，火箭飞机领先于全世界。



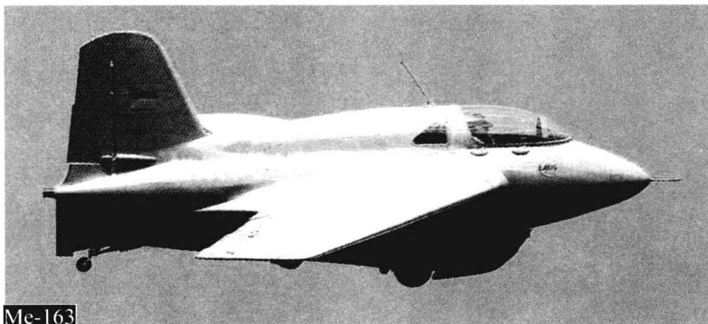
1928年6月11日,德国飞机设计师亚历山大·李比希设计的飞翼式滑翔机“公爵号”安装了两只不足100牛推力的火药火箭,由弗里德里希·施塔默驾驶进行了飞行。1929年8月,容克-33水上飞机进行了安装火箭发动机助推起飞试验。1928年9月30日,奥佩尔RAK-1火箭滑翔机进行了飞行试验。

这些人的试验都带有昙花一现的性质,没有进行过理论研究,而且采用的发动机都是火药推进剂,工作时间短,几乎没有多少价值。

1935年1月,德国空军飞机发展部首脑李希多芬找到冯·布劳恩,要求他研究液体火箭用做军用飞机主动力装置的可能性。当时他们已研制出推力达10千牛的液氧/酒精火箭发动机。在空军挑选飞机时,选中了亨克尔公司的He-112飞机。1937年4月,瓦西茨驾驶He-112在活塞发动机推动下起飞。飞机升空后,他启动了火箭发动机。飞机立即以极高的速度爬升。此后,He-112又进行了几次试飞,最后一次是在火箭发动机推进下起飞的。

为了创造新的速度记录,亨克尔为试验提供了一架小型飞机He-176。它安装瓦尔特火箭发动机,采用过氧化氢作氧化剂,联氨水合物作燃料,推力5.8千牛。1939年6月20日,He-176进行了首次飞行,最大速度达到700千米/小时,成为世界第一架火箭飞机。

第二次世界大战期间,德国梅塞施密特公司研制出著名的火箭飞机Me-163。这架飞机外形短粗,像一个炮弹一样。它是一种无尾翼、大后掠布局的飞机,最大起飞重量4.11吨。Me-163第一架原型机进行了滑翔飞行试验。后来又安装瓦尔特R2-203b发动机进行试验。1941年8月13日,


Me-163

Me-163A进行了首次纯火箭动力的起飞和飞行试验，据称其最大速度达到了915千米/小时。第三架Me-163A原型机在1941年10月又创下1004千米/小时的记录。

知识链接

战争年代，德国火箭飞机研制十分活跃，远远超过任何国家。火箭飞机的研制推动了火箭发动机的发展，推进了气动设计、材料以及控制技术的进步。不过，通过火箭飞机的研制、试验和使用，人们获得了这样一个认识：火箭发动机不适于作为飞机的动力。战后，火箭飞机主要作为一种研究工具，进行航空航天试验研究。

耶格尔驾驶X-1首次突破音障

20世纪40年代跨音速和超音速空气动力学得到很大发展，超音速风洞建设和试验工作也广泛展开。但当时面临的实际问题是，理论与风洞试验结果不能完全符合实际的情况。因此研制突破音速的超音速试验飞机就成了十分迫切的任务。美国最早制定的突破音障的试验飞机是以火箭飞机为基础的。

1943年底，美国海军航空局、陆军和航空咨询委员会召开了一次会议，研究了进行一项超音速飞机特别计划的可行性。1944年初，美国航空咨询委员会、陆军和海军正式制定了一项超音速试验机计划，选择了当时发展较快的火箭发动机。其任务十分明确：研制载一人完成水平超音速飞行的火箭飞机。1944年3月16日，航空咨询委员会召集陆军和海军代

表，讨论了超音速试验机的基本方案设计。这项计划最初确定的型号是MX-324，由美国诺斯罗普公司研制，它呈后掠式飞翼布局，无尾翼组件。

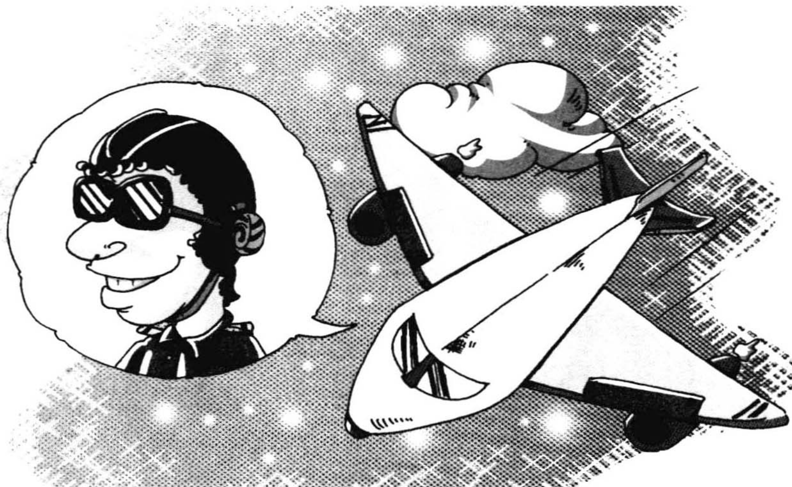
1945年1月15日，航空咨询委员会、美国空军以及贝尔公司联合召开会议。几方达成了初步协议，提出了更先进的MX-653火箭飞机方案。此后计划名称又作了更改，命名为SX-1，最终又改为X-1。1945年2月，正式同贝尔公司签订了生产3架X-1超音速试验机的合同，它安装一台液体火箭发动机，能够实现水平超音速飞行。


飞机突破音障瞬间

发动机选择由招标进行，参与的有反作用发动机公司和罗克韦尔公司。当年3月，对发动机做出了初步选择，结果选定了反作用发动机公司研制的XLR-11。它有四个并联燃烧室，产生最大推力为27千牛，工作时间100秒。推进剂为液氧和75%的甲醇。

X-1具有良好的流型，像一枚子弹头。由于当时对音障的特性不很清楚，因此飞机设计时强调具有足够的强度。X-1的机翼很薄，为了获得高强度，将它们加工成两半，每一半在内侧有意识加厚，达1.27厘米。驾驶舱盖完全同机身融为一体，飞行员从侧面的矩形门进出飞机。为了保证可靠的操纵，操纵机构采用类似汽车的方向盘而不是飞机的操纵杆，目的是必须双手用力，以保证可靠操纵。

X-1的翼展8.54米，机长9.45米，机高3.35米，总重5.9吨。它并没有采用后掠翼，而是常规的平直机翼。机体内除前部小驾驶舱外，中后部均用于装推进剂，总重2.27吨，几乎占飞机总重的一半。尽管如此，它也只能在自身的动力下飞行150秒时间。为了节省推进剂，X-1计划由B-29轰炸机携带升空并在10000米高空释放，然后自行加速爬升。X-1的设计速度



为1600千米/小时，约为音速的1.4倍(高度为3000米时)。

1947年10月14日，由著名试飞员耶格尔驾驶，X-1首次成功地进行了超音速飞行。在空投后，耶格尔启动发动机加速。它从10000米高空很快爬升到12400米。在这个高度上，它的水平飞行速度超过了音速，达到1078千米/小时，约为音速的1.015倍。人类终于首次水平飞行超过了音速，长期困扰科学家和工程师的音障难关得以突破。这是一项具有历史性意义的成就。接着，试飞员胡佛驾驶X-1于1948年3月4日超过了音速。1948年3月31日，飞行员李利驾驶X-1也超过了音速。

X-1试验机不仅创造了新的速度和高度记录，突破了音障，而且为飞机空气动力学研究和设计提供了大量有价值的数据。在稳定和操纵、抖震方面也获得了一定的收获。由于X-1的成功，美国的载人航天研究活动较大规模地开展起来。

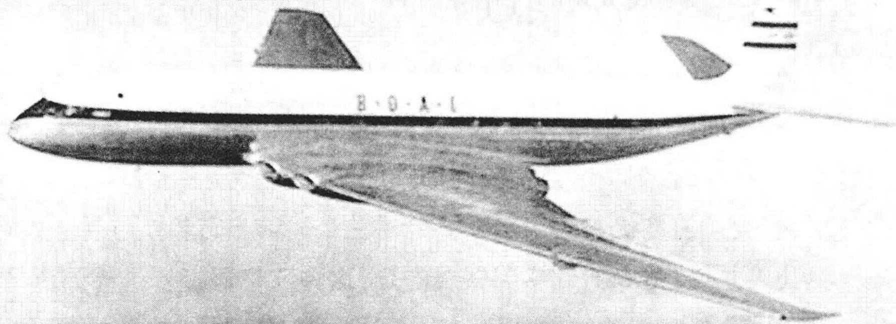
11 喷气客机的诞生与发展

DC-3 的出现，使民航运输发生了革命性变化。从 DC-3 到 DC-7，这些在历史上赫赫有名的飞机在世界范围内架起了空中交通网。这些客机都是采用活塞式发动机、螺旋桨推进，其速度已接近极限。如果要使飞机飞得更快，就必须采用新的推进技术——喷气发动机。喷气式客机的出现，推动了民用航空运输的又一次革命。

1、彗星号喷气客机的出现

喷气飞机早在 1939 年就诞生了。二战末期和二战后不久，英、美、苏等国就将喷气式作战飞机实用化。那么，喷气发动机能否用于民航客机呢？英国德·哈维兰公司研制的"彗星号"喷气客机表明，喷气发动机不仅可以用于客机，而且还能带来革命性的变化：飞行速度更快、飞行高度更高、乘坐更加舒适；潜在的优势还有：航程更远、载客量更大。

30 年代中期以后，世界民用飞机市场几乎被美国几家公司垄断了。面对这一情况，英国开始筹划大型客机研制计划，以期在二战结束后能够生产出可与美国竞争的新型客机。1942 年 12 月，英国飞机生产部长组建了一个委员会，主席是布拉巴宗勋爵，着手对英国准备在战后生产的民用运



英国德·哈维兰公司的"彗星号"喷气客机，这是世界上第一种喷气式民航客机

输机制定规划。1943年2月，该委员会推荐了几种设计方案，其中就有喷气推进方案。这就是“彗星号”喷气客机计划的最初起源。该机由德·哈维兰公司负责研制，编号是DH-106。

1943年德·哈维兰公司即开始进行一系列研究，焦点集中于发动机的布局上。由于当时喷气发动机推力较低，必须用三台才能完成推进任务。最初提出的几种设计方案，三台发动机都是以“品”字形安装在尾部。1944年，由于性能要求发生了变化，动力系统便由三台改成四台发动机，布局也发生了重大变化，将尾部安装改为两两对称安装在机翼根部。



德·哈维兰公司的设计人员没有估计到喷气客机设计方面面临的新困难，认为只要按活塞式飞机设计方法设计一个普通的机壳，装上喷气发动机即可。另外，该公司为节省资金，还采取了一个相当冒险的策略：按设计图纸制造飞机直接进行试飞。“彗星号”客机采用后掠式下单翼，载客24名，采用密封增压式座舱，保证乘客在高空飞行时感觉较舒适。动力系统为四台“鬼”式喷气发动机，推力2018千克。1949年7月27日，“彗星号”进行首次试飞。10月25日，它完成了一次从哈特费尔德到利比亚的贝内托的往返飞行，平均时速721千米。

1951年1月9日，为英国海外航空公司生产的第一架“彗星1号”出厂，经过一年的试飞，于第二年4月交付海外航空公司。5月2日，该公司就将这架飞机投入到伦敦至约翰内斯堡的航线。在“彗星号”刚刚投入航线不久，它就以速度优势吸引了众多的航空公司前来订货。对英国和德·哈维兰公司来说，最令他们感到兴奋的是，这种飞机还打入了美国市场。1952年10月，美国泛美航空公司订购了3架“彗星3号”。数量虽然不多，

但意义十分重大。

彗星号喷气客机的出现使民航客运的平均速度由 400 千米/小时提高到 800 千米/小时，意义十分重大。然而不幸的是，该机自投入使用后，接连出现了几次重大的空难事故。据统计，自 1952 年投入航线到 1970 年，重大事故就发生了 21 起，直接导致乘客死亡的事故就有 11 起，有 8 次是机组人员与乘客全部死亡，最多一次死亡人数 112 人。

知识链接

接二连三的空中解体与坠毁事故，不能不引起英国政府和航空专家的重视。于是，一个庞大的专家组展开了历史上少有的详尽调查。结果发现，机体结构破坏导致空中解体，是引发多起事故的原因，而元凶来自于机体结构的疲劳。“彗星号”由于巡航高度较高，在上升下降过程中就连续受到气压增减的疲劳作用。正是由于“彗星号”飞行事故的教训，一门新的学科“疲劳力学”诞生了。

波音公司确立喷气客机的地位

受彗星号喷气客机的激发，前苏联、法国和美国都在研制喷气客机。这些公司充分吸收了“彗星号”的经验和教训，先后推出了各自的喷气式客机。前苏联制造成功的第一架喷气式客机是图波列夫设计局研制的图-104 客机，它是在中程轰炸机图-16 的基础上改进而成的。1954 年开始制造，1955 年 6 月 17 日第一次试飞成功，1956 年 9 月投入航线使用，成为 50 年代末 60 年代初前苏联民航的主力

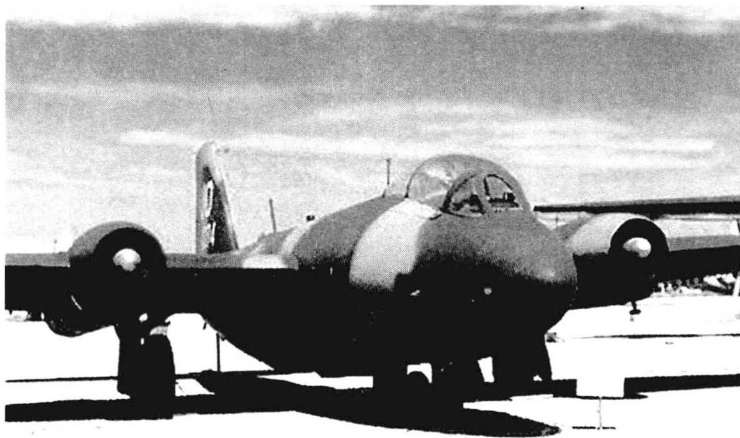


干线客机。

1955年5月27日，法国西南航空公司试飞成功世界第一架支线喷气式客机"快帆号"。它大量采用了"彗星号"的设计，如"彗星号"的机头、罗尔斯·罗伊斯公司的发动机等。但是它也有许多独创之处。最引人注目的是，发动机放在了机身的尾部。这样的设计好处主要有两个：一是机翼处的空气流场不会受到发动机的干扰；二是旅客几乎听不到发动机的噪音。第二条优点为"快帆号"赢得了大批订货。

真正得到世界普遍承认，公认在商业上最为成功的喷气式客机是美国波音公司的波音707。在50年代中期人们对喷气客机褒贬不一时，波音公司意识到喷气客机的巨大潜力，决定发展波音707客机。当该机推出时，它在市场方面的机会也是很好的。

1947年，波音公司应美国空军轰炸机司令部的要求，研制成功B-47喷气式轰炸机。军用喷气轰炸机的研制成功，使波音公司坚信喷气推进技术也是民用客机的发展方向。1950年，波音公司得知英国的"彗星号"客机试飞成功后，决定自行研制喷气式客机，这就是波音707(编号367-80)。这项工作进展很快，到1950年年中便形成了初步设计方案。当年秋天，波音公司首席执行官艾伦去英国伦敦参观法恩巴勒航空展览。"彗星号"首次公开露面给他留下深刻印象，他认为喷气客机将是未来民航机的发展方向。



美国的B-57轰炸机



波音 707 客机

回到美国后，是否将已经提出初步方案的波音 707 投入研制的问题仍然没有定论。尽管艾伦本人主意已决，但这绝不是凭他个人感觉就能决定的事情。在走访几家航空公司时，没有一家愿意订购还在纸面上的飞机。无奈，艾伦决定自己来开拓市场，自筹资金投入研制。1952 年 4 月 22 日下午，波音公司董事会正式做出决定将波音 707 客机投入研制生产。

1954 年 7 月 15 日，波音 367-80 原型机试飞成功。它装有 4 台喷气发动机，航程 5800 千米，载客 105 名。KC-135 加油机借用了 367-80 的设计和技术，也很快研制成功。1954 年 7 月 15 日，KC-135 进行了首次试飞。美国空军第一批就订购了 28 架。

1955 年 7 月，波音公司得到美国空军的许可，在 KC-135 的基础上发展波音 707 民用客机。为了争夺当时看来还相当有限的市场，波音公司立即着手进行了两项重大的技术改进。第一项是加宽波音 707 的客舱；第二项是进行洲际型客机的设计。这两项措施导致了波音 707-120 型和 707-320 型的诞生。波音 707-120 客机可以搭乘 181 名旅客，320 型则可搭乘 189 名旅客。二者的机身都在原 707 飞机的基础上加宽加长。

1957 年 12 月 20 日，第一架波音 707-100 进行了首次试飞。1959 年 10 月 19 日，波音 707-320 客机首次从纽约不着陆飞至伦敦，航程 5000 多千米。泛美航空公司还用波音 707-320 建立了世界上第一家环球乘客服务航线，从而名声大噪。



波音707客机以其飞得更快、飞得更远、乘坐更舒适、旅行更安全、经济性更好而向世人证明喷气客机的巨大优越性，从而确立了喷气客机牢不可破的历史地位。波音707的问世，还使波音公司成功地打破了道格拉斯公司对民用客机市场的几十年垄断。

五代喷气客机的发展

自"彗星号"和波音707开始，喷气式客机已经走过了50年的发展历程，期间通过更新换代，喷气客机共发展了五代，各代在技术与性能上都有较大的进步。粗略地说大约每10年出现新的一代喷气客机。

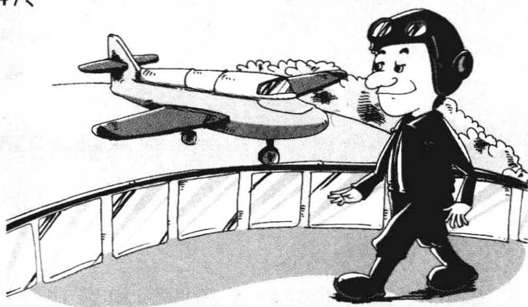
第一代喷气客机是50年代投入使用的，机型有英国的"彗星号"、法国的"快帆号"、美国的波音707、道格拉斯公司的DC-8以及前苏联的图-104等。这一代的主要特征是采用涡轮喷气式发动机、后掠式机翼，与活塞式客机相比大大提高了巡航速度和客运量，使民航运营效率大为提高。从气动设计上看，这一代飞机采用了大展弦比后掠翼，层流平顶翼型。采用带双缝或三缝的后缘襟翼和富勒襟翼、前缘缝翼和克鲁格襟翼等组合式襟翼增升装置。

第二代喷气客机是60年代投入使用的，代表机型包括美国的波音727、波音737和道格拉斯DC-9(MD-80系列)，英国原德·哈维兰公司的三叉戟，前苏联的图-154等。其主要技术特点是采用低涵道比涡轮风扇发动机，降低了耗油率，提高了经济性。各大飞机公司还根据市场需要，利用新技术对已有飞机进行改型设计，形成了许多干线客机系列。改进的措施有加长或缩短机身、采用新型机翼和增升装置、更新内设和电子系统、采用新型发动机等。大量改型使第二代客机载客量从100座增加到180

座，主要用于中近程客货运输。

波音727和波音737都是第二代喷气客机的代表。在技术上，第二代采用新型的涡轮风扇发动机，耗油率大大下降，提高了民航运输的经济性。乘客的舒适性也得到极大改善。波音737系列是最成功的喷气客机，生产和使用量最大。到2006年初，各型波音737已生产交付了5000架，总订货量超过6000架。

第三代喷气式客机于70年代投入使用，代表机型包括波音747、道格拉斯DC-10、洛克希德公司L-1011，欧洲空中客车公司的A300和前苏联的伊尔-86等。它们的基本技术特征是采用宽机身和高涵道比涡扇发动机，载客量和航程都有较大提高，座位数约300个～500个。发动机的低耗油和气动设计上提高展弦比及气动效率等技术措施使经济性进一步提高，并解决了远程客货运输问题。最新的波音747-400最大载客量可达592人。它在波音747-300型基础上机翼加长1.83米，并加装了1.83米长的机梢小翼，油耗降低了12%，航程增加了3%，改善了经济性。



第三代喷气客机机身直径可达5.5米～6.6米，是第二代以前所谓“窄体”客机的1.5倍。起飞重量最大可达300吨以上，载客量远程达400人以上，近程则超过600人。动力装置开始采用推力更大，耗油率更低的高涵道比涡扇式发动机，噪声和震动水平则大大下降。乘客的舒适性和航空公司的收益因此大大改善。在气动设计上，宽体客机也体现了最新的科研成果。突出的是采用了新型的“尖峰”翼型，巡航升阻比有所提高，从而又使耗油率下降。此外，机翼普遍采用中等后掠角的大面积机翼。

第四代喷气式客机研制始于70年代，于80年代投入使用。当时国际



上出现了石油危机，因而这一代飞机特别强调降低运营成本，提高经济性。主要机型有：波音757、波音767、欧洲的A310、A320和前苏联的伊尔-96、图-204等。

第四代客机普遍应用超临界机翼和翼梢小翼。空中客车系列还采用了翼梢涡扩展器。其他气动设计特点有：减小机翼后掠角、增大机翼厚度、改善部件干扰流场、提高机翼展弦比(达到9～10)，气动效率有较大提高。取得的效益是单座耗油率比第一代降低了60%。

第五代喷气式客机于90年代投入使用，主要型号有美国波音777、麦道MD-11、欧洲A330/A340和俄罗斯的图-96等。这一代飞机在设计上除增加载客量、提高适应性外，继续探索降低油耗，提高经济性。采用的技术措施有：安装耗油率更低、排污更小、噪声更低、涵道比更高、推力更大、维护性更好的涡扇发动机，加大复合材料的用量，进一步加大展弦比或加装翼梢小翼提高气动效率，采用超临界翼型或高效亚音速翼型。不断采用新技术，使经济性等指标更好。

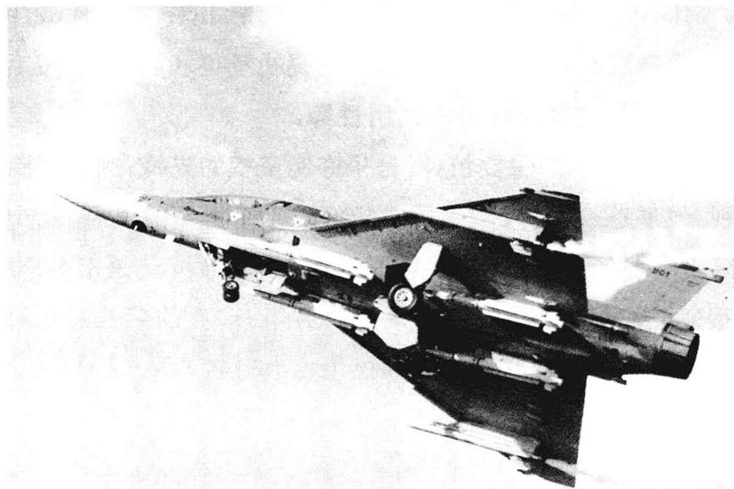
空客公司最新的A380也属于第五代客机，它载客量可达550人～800人，无论是载客量还是航程都超过波音747。波音公司的高性能的中型客机787“梦幻飞机”也将于近年投入使用。随着这两种客机投入使用，民航运输的面貌也为之一新。

12 超音速战机更新换代

自1947年X-1实现超音速后，军用战斗机采用新型喷气发动机很快在50年代初超过了音速。战斗机是用于空中格斗、争夺制空权的机种。它速度快、升限高，往往体现一个时期航空技术的最高水平。从50年代开始，喷气战斗机经历了亚音速到超音速的过渡，发展速度更是一日千里，成为军用飞机的明星。到目前，超音速战斗机已经发展到第四代。

超音速战机更新换代

第一代超音速战斗机出现于20世纪50年代初，代表机种有美国的F-100和前苏联的米格-19，还有美国康维尔公司的F-102“三角标枪”、麦克唐纳公司的F-101“魔术师”，英国的“猎人”式，法国达索公司的“超神秘”，瑞典的“萨伯”35等。这一代战斗机的性能特点是低超音速，最大平飞速度约为M1.3～M1.5。由于它们的目的是实现超音速飞行，因而采用单台大推力喷气发动机，有的还安装了两台发动机。为了实现超音速，空气动力学设计上采取的主要措施是使用后掠翼布局或三角翼，并已开始采用面积率。



“幻影”2000战斗机

第二代超音速战斗机出现于20世纪50年代末和60年代初。代表机型有美国洛克希德公司F-104“星”式、麦克唐纳公司F-4“鬼怪”式、诺斯罗普公司

F-5“自由战士”，英国的“闪电”式，法国的“幻影”III和“幻影”F-1，瑞典的“萨伯”-37；前苏联的米格-21、米格-23、米格-25和苏-17，中国的歼7和歼8等。这一代战斗机强调所谓“高空高速”，最大速度可达M2～2.5，升限可达20千米。个别的高空截击机的速度可达M3，升限高达30千米。作战上强调全天候和中距离拦截。在气动设计上，第二代已过渡到头部尖锐、两侧进气，或为改善低速性能而采用可变后掠翼。

第三代超音速战斗机出现于70年代中期。代表机种包括美国的F-14“雄猫”、F-15“鹰”、F-16“战隼”和F-18“大黄蜂”，前苏联的米格-29“支点”、苏-27“侧卫”和米格-31“猎狐犬”，法国的“幻影”2000等。这一代飞机装备了推重比达7～8的发动机，电子及控制系统也大为改观，包括广泛采用电传操纵系统。根据局部战争的使用经验，第三代战斗机更强调多用途性和高机动性。爬升率、盘旋半径、盘旋角速度和加速性能等有了大幅度提高。为保证有较高的机动性，气动设计上的主要措施是翼身融合体、鸭式机翼、边条翼、前缘襟翼等，并大量应用主动控制技术。

第四代超音速战斗机典型型号有美国的F-22、俄罗斯的苏-37和I-42、法国的“阵风”、欧洲合作研制的“欧洲战斗机”和瑞典的JAS·39等。第三代超音速战斗机的缺点主要有：要达到超音速必须开加力，持续超音速飞行时间很短；隐身特性较差；作战半径偏小；机动性能指标不足以应付未来的作战环境。第四代战斗机主要是克服上述缺点研制的。第四代战斗机的性能指标有：隐身或部分隐身、超音速巡航、高机动性和敏捷性、短距离起降能力、足够大的作战半径和作战适用性等。

战斗机是军用作战飞机的主要机种，是争夺制空权的先锋，因而受到各国的高度重视，发展速度很快。喷气战斗机经过半个世纪的发展，几个大国形成了国际上有名的战斗机系列，一是美国的F系列，一是前苏联/俄罗斯的米格系列，一是法国的“幻影”系列。另外，瑞典的萨伯系列和英、德、意等国自行研制或联合研制的战斗机也相当有名。

知识链接

喷气战斗机自德国的Me262起始，到F-80，再到1947年问世的F-86和米格-15，已经完成了用喷气战斗机取代活塞战斗机。它的速度、机动性等方面的优势已经充分显现出来，在军用机舞台的地位得到牢固的确立。当时战斗机追求的主要性能指标是飞行速度，为此采取了许多技术措施，包括加大发动机推力，采用后掠机翼，采用新翼型和流线型设计等。在经过大量研制和有限使用中得到检验的基础上，喷气战斗机开始向另一个目标进军：超音速。20世纪50年代初，前苏联的米格-19和美国的F-100率先成为实用超音速战斗机。

美国F-系列战斗机



美国第一种实用超音速战斗机是F-100，原型机YF-100A于1952年5月25日完成了首次飞行，目的是作为F-86的后继机。朝鲜战争后，根据喷气战斗机作战的经验，在性能方面提出了更高的要求：高速度、高爬升率以及良好的高空性能。为此，它的首要性能指标是超音速，并采取了多种技术措施。

F-104"星"被看做是第二代喷气式战斗机的第一种机型。洛克希德公司的"臭鼬工程队"在著名设计师约翰逊的领导下，于50年代中期研制成功这一在航空史上争议很大的二倍音速战斗机。它的原型机于1954年2

月 7 日首次试飞。F-104 首先瞄准了二倍音速，为此大大缩小了机身尺寸，加长了机身，机翼呈小展弦比梯形，翼展仅 6.68 米，翼面积只有 16.64 平方米，而机长却高达 16.69 米。重量轻、大推力和细长机身是其突破二倍音速的重要因素。


F-4“鬼怪”

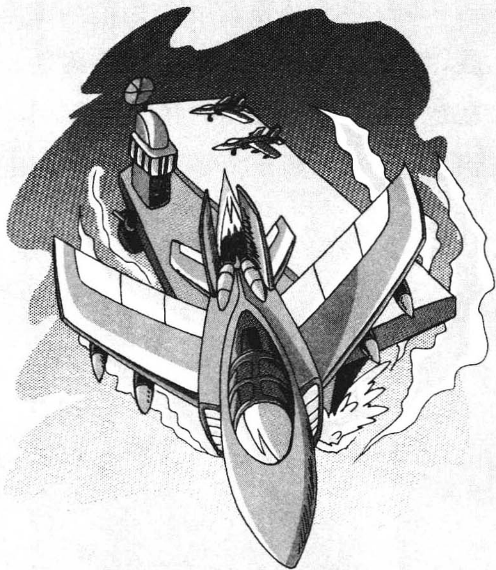
F-104 在飞行性能上实现了设计师当初的目标，它多次创造飞行速度、爬升率以及飞行高度世界新记录，最大速度达 M2.2。它的起飞和着陆距离很长，作战半径很小，武器系统很弱，加上操纵困难，事故率很高，因而受到各方面的指责。

麦克唐纳公司研制的 F-4“鬼怪”式战斗机于 1958 年 5 月 27 日首次试飞。F-4“鬼怪”式战斗机是喷气战斗机史上的一个杰作。它采用后掠翼，外翼部分上翘，两个大型的侧面进气道，喷管位于后机身下部。在气动设计上，它有许多创新之处。F-4 是一代世界名机。

美国在第三代战斗机研制上取得了突出成就，出现了 F-14 舰载战斗机、F-15 重型战斗机、F-16、F-18 等多种著名机型。1970 年 12 月 21 日 F-14 第一架原型机首次试飞。1971 年 5 月 24 日第二架原型机首次试飞。经过 1 年多的试飞，1972 年 6 月 F-14 飞机开始在军舰上试飞。

F-14 采用两台大推力发动机，可变后掠翼，大大提高了短距起飞和降落能力，适于舰载作战。它的翼展 19.54 米，机长 19.1 米，起飞重量 33.72 吨，最大外挂武器载荷 6577 千克，包括机炮、各种战术导弹和核弹。其最大速度 M2.34，航程 3220 千米。它的总产量约 710 架。

F-15“鹰”是第三代战斗机最典型的代表。它是麦克唐纳·道格拉斯公司根据空军的要求研制的用于替换 F-4 的主力制空战斗机，主要用于夺取战区制空权。F-15 是第三代中最出色的空中优势战斗机。它参战的机会不多，但表现却令人叹为观止。在海湾战斗中，空战场面不多，规模也不大，F-15 击落的伊拉克飞机最多，为 33 架，占全部被击落的伊机的 87%，自己无一受损。从它参战直到 1996 年，它共击落各种飞机 96 架，而自己无一被击落。



F-15 造价昂贵，本着“高低搭配”的原则，美国通用动力公司研制了F-16“战隼”式轻型战斗机。该计划始于 1972 年初美国空军的“轻型战斗机原型机计划”，目的是发展和验证可在轻型战斗机上使用的新技术。F-16 原型机于 1974 年 2 月 2 日首次试飞。研制要求是在保证制空作战能力的前提下，尽可能轻型、简单、便宜，与 F-15 搭配使用。

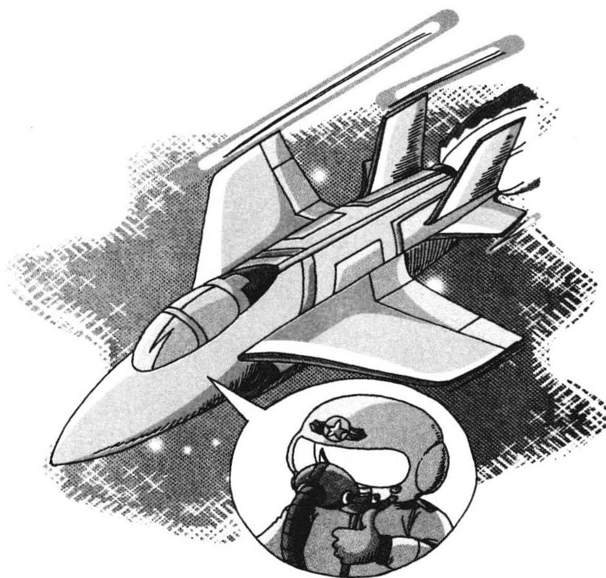
F-16 采用了大量新技术。在气动方面，采用了边条翼、翼身融合体布局，安装了空战襟翼，大大提高了机动性和大迎角飞行性能；在控制方面，采用了多项主动控制技术，特别是放宽静稳定度，降低了结构重量，减少了阻力，改善了操纵性并提高了机动性。

美国研制的第四代战斗机有 YF-22 和 YF-23，经过试飞对比，最后选择了前者。F-22 战斗机能在 M1.5 的速度下巡航 30 分钟并能实施机动，这是全新的能力，可大大提高作战效能。它的机动性和敏捷性大大超过了第三代，如水平加速度是F-14 和F-15 的三倍；推重比比F-15 大 35.5%；最大迎角

由F-16的25°一跃提高到达60°，作战半径也比第三代大大提高。

F-22还十分强调作战适用性，它包括可用性、兼用性、运输性、互用性、可靠性、出勤率、维修性、保障性、安全性、测试性、环境适应性等，也就是飞机在外场使用的满意程度。这方面性能F-22普遍比F-15高出一倍。F-22战斗机于1997年9月7日进行了首次试飞。

苏（俄）米格系列战斗机



米高扬设计局成立于20世纪30年代，最初研制的米格-1和它的改型米格-3性能不如同时期的雅克式和拉式飞机，生产量不大。二战后，米高扬设计局较早开始了喷气飞机的研制，并率先研制成功前苏联第一种喷气飞机米格-9。40年代后期，该设计局研制成功米格-15喷气战斗机，奠定了该局在战斗机研制领域的国际地位。米格式成了世界先进水平战斗机代名词。

米格-19是前苏联第一种实用超音速战斗机。它的气动布局与前面的亚音速飞机相比有重大改进。为克服米格-15等飞机高速飞行阻力大的缺点，米格-19采用了相对厚度较薄的机翼，增大了后掠角，取消了翼刀。为保证有较好的失速特性，机翼翼梢处后掠角要减小。这样它的高速飞行阻力大大降低。

米格-19翼展仅9米，机长却达13.08米。它的起飞重量8700千克，装

2 台 29.8 千牛的喷气发动机，最大平飞速度 1480 千米/小时 (M1.36)，航程 2200 千米。它装有 3 门大口径机炮，可带 1 吨炸弹。改型米格-19 有教练型、试验型和截击型。

米格-21 是前苏联为对付 F-104 于 1953 年开始研制的第二代超音速战斗机。原型机于 1955 年 11 月首次试飞，生产型 1958 年装备部队。它根据朝鲜战争的经验研制的，强调轻巧、灵活、爬升快、跨音速和超音速操纵性好，火力强。它采用小翼弦比三角翼、面积率机身和大推力发动机，使其后期改型最大速度也达到 M2.2。

前苏联的米格-23 是第二代超音速战斗机中较先进的一种，相当于美国的第二代与第三代之间的一个机型。1964 年米高扬设计局开始设计可变后掠翼战斗机米格-23。1967 年 5 月 26 日原型机首次试飞。在气动布局上，除了采用变后掠翼外，它的进气道改变了以往米格飞机的头部进气特点，采用两侧进气道，改善了驾驶员的视野，也有利于加装雷达，气动阻力较小。武器系统包括双管机炮、近距空空导弹、中距空空导弹和炸弹。它的生产量相当大，共产生了约 3000 架。在米格-23 的基础上，米高扬设计局研制了米格-27 战斗机。主要改进是增强的武器系统，使之成为一种战斗轰炸机。


米格-29“支点”战斗机最新改进型

米格-29的研制始于70年代初，设计任务书明确要求它在近距作战和超视距作战性能上优于F-16和F/A-18战斗机。1977年10月6日原型机首次试飞，1982年投入批量生产，1983年投入使用。为对抗美国的第三代战斗机，它设计的重点是高亚音速机动性、加速性和爬升性，因而在气动设计上与以往的米格战斗机有很大不同。它采用了边条翼布局，改善了正常迎角范围内的气动特性。机翼装有由计算机控制的、全翼展前缘缝翼，提高了低速飞行的机动性。腹部进气道改善了飞机机动飞行时的推力特性。米格-29改型生产了约800多架。



1969年苏霍伊设计局开始研制全新的制空型战斗机苏-27。原型机于1977年5月20日首次试飞。生产型于1981年4月首次试飞，1984年投入使用。80年代后期，前苏联才将这种飞机公开展出，使外界了解到它的一些细节。在一些公开表演中，苏-27的出色机动性能令西方人大为意外，它的所谓“眼镜蛇机动”令美制F-15和F-16等飞机望尘莫及。

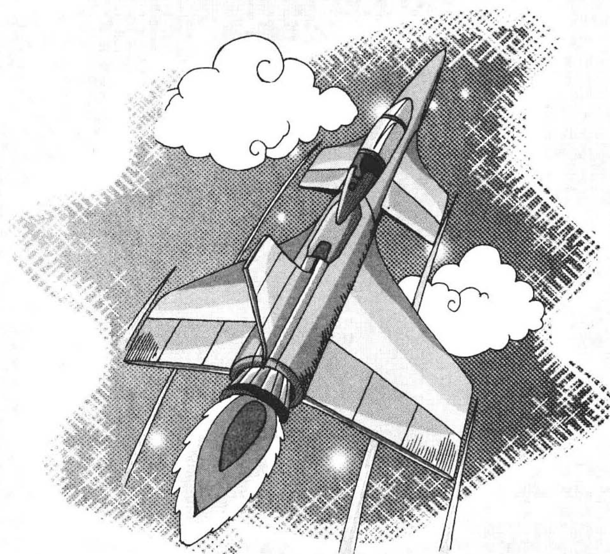
苏-27采用翼身融合体布局，腹部进气道。作为前缘边条的整流段使前机身侧面与外翼段融成一个完整的升力面。巡航和高速飞行时，由外段机翼产生升力；在机动飞行和大迎角飞行时，边条可提供很大的涡升力。由于苏-27系列的后期改进型的发动机采用了一定的矢量推进技术，苏-27的机动性能超过了美国的第三代战斗机。

苏-27在90年代初已装备独联体国家数百架。它的改型很多，有单座陆基型，主要用于制空作战；双座教练型；舰载型；战斗轰炸型；苏-30空



中指挥型以及其他改型。在它的基础上发展的苏-35于1992年在英国航展上展出。它采用了多项新技术，包括矢量推进技术、电传操纵系统、主动控制系统，雷达、显示器、搜索及跟踪系统也得到很大改进。

法国“幻影”系列战斗机



法国从1943年开始研制喷气飞机。1946年11月11日，法国西南飞机制造公司研制的SO6000喷气飞机首次试飞。它采用德国的喷气发动机。后来飞机换成英国罗罗公司的尼恩发动机，性能有了较大提高。此后法国达索公司在研制喷气战斗机方面逐渐走在了前面。

达索公司首先研制了“神秘”系列喷气战斗机。最初型号是“暴风”式单发战斗机，原型机于1949年2月28日首次试飞。它采用了后掠翼，采用一台推力为2270千克的“尼恩”喷气发动机，最大速度940千米，航程920千米。它生产了约350架后于1954年停止生产。

“神秘”式战斗机仍采用后掠翼，中单翼，机身设计更加完美。飞机最大起飞重量9100千克，装一台“维尔登”式喷气发动机，推力34.3千牛，最大速度1120千米/小时，航程917千米。该机原型机于1951年2月首次试飞。“神秘”系列有多种改型，共生产了421架。

法国达索公司研制的“幻影”系列战斗机成为取代“神秘”系列的标准型战斗机。50年代中期，达索公司对未来战斗机进行了设计探索，先后研

制了“幻影”Ⅰ和“幻影”Ⅱ喷气战斗机，采用了后来达索公司十分偏好的无尾三角翼布局。该机首次试飞时间是1956年11月18日。后期改型“幻影”ⅢE的速度达到M2.2。它是第二代超音速战斗机的代表性机种。它采用后掠翼布局，面积率设计，细长机身，两侧进气。



“幻影”2000是典型第三代战斗机，研制计划始于1975年12月。原型机于1978年3月10日首次试飞。它继承了达索公司研制无尾三角翼战斗机的传统，阻力小，结构重量轻，刚性好，载油量大。另外，它广泛采用了先进技术，包括电传操纵系统、主动控制技术，复合材料用量大。它可执行防空、截击、空战、攻击、支援、侦察等任务，是法国主力战斗机。

在技术水平上，“幻影”2000大大超过了它的前辈，其电传操纵系统、主动控制技术和复合材料的采用使全机重量减轻、操纵性和飞行性能大大提高，可以说电传操纵系统是它取得成功的关键。“幻影”2000C型尺寸为：翼展9.13米，机长14.36米，最大起飞重量17吨。装一台斯奈克玛M53-P2涡扇发动机，加力推力95.1千牛。飞机最大平飞速度M2.2，实用升限17300米，作战半径650千米～1430千米。主要型别有C型(防空截击型)、B型(双座教练型)、N型(双座对地攻击型)、D型(双座攻击型)、“幻影”2000-3型和 2000-5型(发展型和改进型)。

“阵风”战斗机是法国达索公司研制的新一代战斗机。1986年7月4日法国“阵风”原型机首次试飞。该机是达索公司为法国空军研制的新一


中国歼击机

代战斗机。研制计划分两阶段进行，第一阶段研制试验战斗机，验证新战斗机将采用的先进气动外形和各种新技术；第二阶段研制实用战斗机。试验型“阵风”A于1983年3月开始设计，1986年首飞。实用型战斗机“阵风”C比试验型稍小，它于1991年4月首次试飞。该机采用复合后掠三角翼，高位近耦合鸭翼和单垂尾翼布局，机翼具有可变弯度提高升力的特点。发动机采用两侧下方进气，这对飞机大迎角飞行十分有利。机载设备先进，采用了电传操纵系统、一体化显示和先进的雷达。从总体性能指标上看，它属于第三代半超音速战斗机。

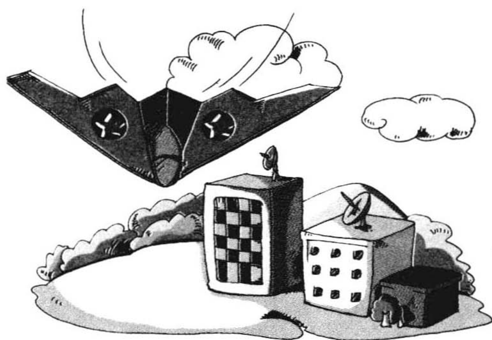
“阵风”C的技术和性能数据为：翼展10.9米，机长15.3米，机高5.34米，最大起飞重量21.5吨，装2台推力为48.7千牛的斯奈克玛M88-2涡扇发动机，最大飞行速度M2.0，作战半径1033千米。

欧洲航空技术的总体水平落后于美国和前苏联。为此，欧洲一些国家在航空技术领域走上了国际合作的道路，先后研制了第二代“狂风”战斗机、三代半的“台风”战斗机、第四代欧洲战斗机等。

13 隐身技术的出现与成熟

在1991年1月17日爆发的海湾战争中，美国F-117隐身战斗机最先出动，利用其隐身能力优势对伊拉克一体化防空系统进行了空袭。第二次攻击的目标是首府巴格达市中心通讯指挥中心。攻击后45分钟，巴格达才响起空袭警报。整个战争期间，F-117共出动1296架次，仅占多国部队全部出动架次的2%，但在被攻击的战略目标中，有40%是它攻击的；巴格达市内95%的目标都是由它攻击。海湾战争使F-117身价倍增，也使隐身飞机成为人们街谈巷议的话题。

什么是隐身技术



隐身飞机的隐身并不像童话里写的那样，魔法师头戴隐身帽或脚穿隐身鞋后人们就看不见了。现代隐身飞机是利用各种反雷达探测、反红外探测等手段，使敌方的雷达、红外和光电探测器探测不到或难以辨认，从而达到“隐身”的目的。

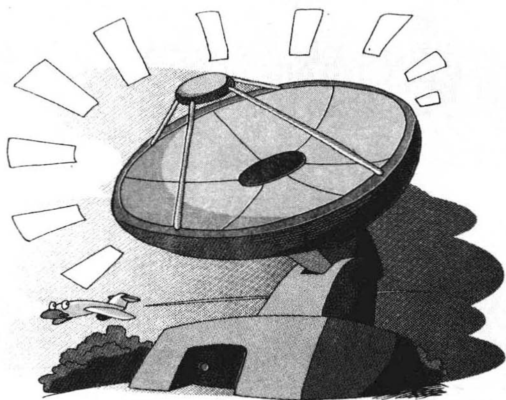
飞机隐身的目的是不易被敌方发现，从而增强攻击的突然性，提高飞机作战效能和生存能力。由于人的视觉和听觉能力很弱，只能在较近的距离发现飞机，飞机是否采取这类感官隐身措施意义不大。因而早期航空界并没有特别重视隐身技术。随着科学技术的发展，探测飞机的技术和手段发生了根本性变化，由人的感官探测发展为用电子器件探测，雷达和红外就是二战后迅速发展起来的飞机探测技术。这些技术的出现，使飞机的安全受到极大威胁，隐身变得日益重要了。这时隐身的目标和手



段也发生了重大变化，那就是降低被敌方雷达系统和红外探测器等探测到的可能性。因此，飞机隐身就是为了降低可探测性。低可探测性是隐身的同义语。

隐身技术是一项高度复杂、高度综合性的技术。探测飞机可有多种手段，隐身技术应当针对每一种探测手段的特点研究降低其探测性的措施。现代飞机隐身技术包括雷达隐身、红外隐身、声波隐身、可见光隐身。随着激光技术的发展，激光雷达等新型探测技术应运而生，激光隐身可能成为未来隐身技术的重要课题。就目前来说，雷达隐身和红外隐身是最重要的两种。雷达是最重要、最可靠、作用距离最远的飞机探测手段。雷达的出现，使远距离探测和发现飞机成为可能，从而延长了预警时间，为己方飞机及时出动拦截、攻击，也为防空部队提早准备起到了决定性作用。可以说，雷达成了飞机的克星，对其安全构成了极大威胁，也削弱了空袭的突然性和攻击的效果。正因为如此，雷达隐身成为隐身技术中最关键、最重要的。

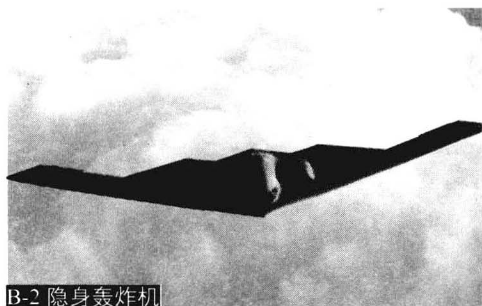
雷达隐身就是尽可能减弱飞机对雷达波的反射强度，使雷达难以发现。用专业术语来说就是降低飞机的“雷达散射截面”(RCS)。什么是雷达散射截面呢？



雷达是利用无线电波发现目标并测定其位置和距离的设备，采用微波波段，波长介于超短波与远红外之间，一般为数毫米至数厘米。雷达波在空间传播时若遇到飞机等障碍物就会发生反射和绕射，通常统称散射。雷达波经障碍物散射后，有一部分会被雷达接收机接收到。雷达接收机接收到的散射信号的强弱(能量大小)与障碍物的大小、形状、方位角、距离以及雷达发出的电磁波有关。为了反映雷达接收飞机散射波能量的大小，通常用一个球的雷达波散射特性来衡量，即用一个与飞机的散射波能量相等的球

的截面尺寸来表示。这个球的截面大小就是飞机的雷达散射截面。飞机雷达散射截面越大，它被雷达发现的可能性越大；飞机雷达散射截面越小，它被雷达发现的可能性越小。雷达散射截面是反映飞机对雷达波散射特性的物理量。飞机雷达隐身技术的目标就是努力减小雷达散射截面。

隐身飞机的探索


B-2 隐身轰炸机

美国隐身技术的探索开始得最早，取得的成就最大。从50年代开始，美国先后研制出了采取隐身措施的多种侦察机、半隐身轰炸机、准隐身轰炸机、全隐身侦察机、全隐身战斗机和轰炸机。

U-2是美国洛克希德公司1954年开始研制的高空战略侦察机。领导研制的是著名飞机设计师克莱伦斯·约翰逊。U-2侦察机研制的目的是深入前苏联领空进行纵深侦察。为不被发现甚至击落，它采用了一些有利于隐蔽的措施。首先，尽量提高它的飞行高度，采取的措施包括降低飞机重量，不安装任何武器，采用大展弦比的细长机翼，看起来就像一架滑翔机一样。它的升限超过20千米。在达到一定高度并进入敌方领空后，关掉发动机，就可以无声无息地进行隐蔽飞行和侦察。其次，它的机身和机翼内部装满了燃料，从而保证它具有很大的航程和续航时间。

为提高侦察飞行的隐蔽性，U-2采取了一种隐身技术：机身上涂满黑色的“铁漆”涂料。这种涂料能吸收部分雷达波，可以降低雷达波的反射强度。

从1959年开始，洛克希德公司按美国空军的要求开始秘密研制速度为音速三倍，飞行高度达30千米的远程战略侦察机。这就是有名的SR-71“黑鸟”。1962年4月，该机的原型机A-12进行了首次试飞。60年代中期，SR-71开始投入使用，被美国空军用来进行全球性的战略侦察，搜集军

事情报。SR-71 侦察机的高空最大飞行速度可达 M3.2，是飞得最快的常规飞机。

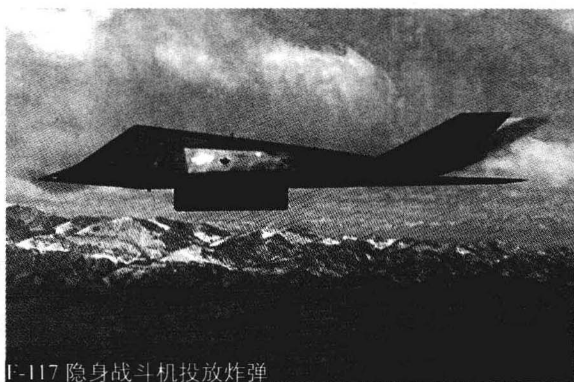
SR-71 是一种半隐身飞机，采用了当时发展出来的多种隐身技术措施：机身表面喷涂了黑色的、能吸收雷达波的铁漆，并用了许多专门研制的特殊材料和涂层；在气动外形设计上也采用了多种隐身技术措施。它没有水平尾翼，采用三角形机翼，机翼前缘根部的边条一直向前延伸到机头，与机身融为一体，光滑过渡，形成翼身融合体结构；飞机机身细长，前机身截面呈菱形，后部扁平。这些措施都使其雷达波散射强度大大减弱，提高了隐身性能。SR-71 侦察机自研制成功后，几乎每天都出动侦察，但从未被击落过。

美国的 B-1 超音速战略轰炸机为了实现低空突防，采用了一些隐身技术，包括翼身融合体、细长机身布局和采用雷达波吸收材料和涂层等，使它的雷达反射截面积相当于一架小型战斗机，只有 B-52 的十分之一。1983 年 3 月首次试飞的 B-1B 更广泛地采用了隐身技术，从而大大提高了隐身性能。它的雷达反射截面积只有 B-1A 的十分之一，即相当于 B-52 的 1%。

上述几种飞机都不是真正的隐身飞机。目前已经服役的全隐身飞机只有美国的 F-117 战斗机、F-22 战斗机和 B-2 轰炸机。

全隐身飞机的出现

F-117A 是洛克希德公司研制的世界上第一种全隐身战斗轰炸机。它的研制始于 1978 年，是专为夜间攻击设计的战斗轰炸机，因此它的绰号叫“夜鹰”。它配备有红外下视和前视两个系统。F-117A 属于高亚音


F-117 隐身战斗机投放炸弹

速隐身战斗机，最大飞行速度略超过音速，巡航速度则低于音速。为降低雷达散射截面，它采用了极为奇特的气动外形设计，机身下表面和机身上表面由许多块小平面合为一体的多面锥体，形成前锥、上锥和后锥，机翼的前缘就是机身前缘的延伸。这种外形出乎人们的意料之外。但它是气动与隐身一体化设计的杰作。F-117A 的大多数表面与垂直面的夹角均大于 30°，可以把雷达波的大部分散射到上半天球内，通常不会形成极为有害的镜面反射，即使有面积也很小，因而绝大部分反射波能量不会返回到雷达方向。F-117A 机身表面和平面转接处的设计使反射波集中于水平面内的几个狭窄的区域内，而不像常规飞机那样全方向反射，这样就可使两个波束之间的微弱反射信号与背景噪声难以区分。

F-117A 的下表面本着“吸”的原则，采用吸波复合材料结构并采用吸波涂层。这样，地面雷达无论从哪个方向照射，都会被下表面吸收或一定程度地散射。机翼布局有效地将发动机进气道和机身遮住，并采用网状格栅隐蔽，使雷达波难以进入高反射性的发动机风扇。雷达回波信号强度极弱，地面雷达很难探测到它。

F-117A 的机翼前后缘设计成尖锐笔直，机体表面其他边缘也尽可能与前后缘平行，这样整个飞机的雷达反射波束会集中于少数几个预先选定的方向上，避开雷达探测方向。为使一些细部的雷达波散射信号也集中在这几个方向上，一些不连续区域如驾驶舱边角线、起落架舱门、发动机舱门前后缘和武器舱门边缘都设计成锯齿状，使反射波与几个主波束方向一致。

除气动外形设计和吸波材料与涂层等隐身措施外，总体设计的隐身措施还有不设武器挂架，没有副油箱，外表异常干净利落。F-117A 还采取了红外隐身措施。如尾喷管下唇口较长并有上翘的挡板，以遮挡发动机红外辐射。

B-2 是美国第一种全隐身轰炸机。为适应 20 世纪末甚至 21 世纪低空突防的需要，必须采用全隐身式设计。1981 年 10 月，美国空军与诺斯罗普公司签订了合同，发展 B-2 隐身轰炸机。

1989年7月17日,B-2原型机进行了首次试飞。以后又进行了两次试飞,进行了飞机性能和飞机系统试验。由于强调隐身性能,B-2采用了对隐身极为有利的飞翼式布局,它没有水平尾翼,连垂直尾翼也取消了,整个飞机外形呈光滑曲面。从飞机前部看,只有机身上表面有三个隆起的鼓包,中间较大的是座舱,两边稍小的是发动机进气道。机翼的前缘像两条笔直的射线,以机头为起点向后延伸,后掠角为40°。机翼后缘呈锯齿形,由10条直边缘构成,这些直边缘按角度分成两组,每组边缘相互平行,并与两个前缘平行,可将雷达波仅向两个方向反射。



B-2隐身战略轰炸机正面特写

除气动设计隐身措施外,B-2大量使用吸波特性好的复合材料和结构。这些复合材料包括石墨碳纤维材料、蜂窝状雷达吸波结构,有些地方还涂有雷达吸波材料涂层。B-2的所有燃料和武器系统全部在机体内,因此外形异常"干净"。据称,它在正常探测距离下的雷达散射截面积与一只大鸟相当,约0.1平方米。B-2还采取一系列红外和可见光隐身措施。

气动与隐身一体化设计要求采用特殊的低雷达波散射外形,这样有可能大大降低空气动力性能。F-117外形的气动特性不好,只能进行高亚音速飞行。B-2轰炸机的速度也不高。这是一个重大缺陷。

F-22战斗机是为了取代F-15战斗机而研制的第四代空中优势战斗机。它采用了相对常规的外形设计,气动部件包括机翼、水平尾翼和两个垂直尾翼。它的气动隐身设计原则是:翼身融合体布局,边条、机翼、尾翼和垂尾的前缘相互平行,后缘相互平行,使雷达反射信号只向几乎垂直于侧面的方向反射,避开了正前方和正后方;两个垂直尾翼向外倾斜,避免侧向发


B-2轰炸机进行空中加油

生镜面反射；采用可变弯度的自适应机翼前缘，可降低常规襟翼、副翼等的雷达波反射截面积；发动机进气口呈平行四边形，向侧下倾斜，气流通过较长的进气道进入发动机，这些措施都是为了降低雷达反射截面积。

F-22将雷达吸波材料只用在机翼和尾翼边缘以及进气道内腔等处，这样可降低飞机的重量。由于这些技术措施的采用，使F-22具有良好的隐身性能，气动特性也能够达到设计要求，比F-15的多项战术性能指标高出很多。由于在隐身性能与气动特性上取得折中，它的隐身特性不如F-117A，其雷达反射截面积约为0.5平方米。

隐身技术的出现，导致一些国家又开始研究反隐身技术。隐身技术的使用，或多或少降低了飞机的性能，增加了研制与使用成本，于是关于隐身技术是否得不偿失的争论一直没有停止过。美国在隐身技术上付出了高昂代价，取得了国际领先的地位，但这种做法遭到不少质疑之声。看来，对于作战飞机而言，重要的是适应性和作战能力，而不仅仅是技术含量的高低。

知识链接

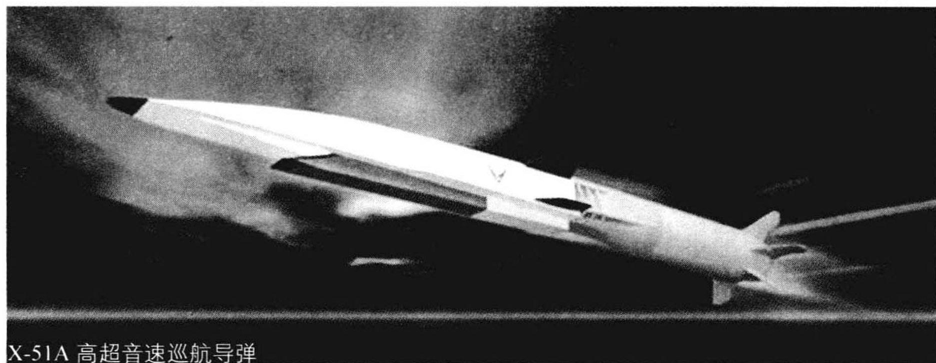
F/A-22是美国空军研制的新一代战斗机，也是除美国的F-35以外目前唯一面世的"第四代战斗机"，它将成为21世纪初的主战机种。它的任务包括：夺取制空权，向美军作战提供空中优势，在战区空域有效实施精确打击；防空火力压制和封锁、纵深遮断，近距空中支援。与第三代战斗机相比，F/A-22飞机最具里程碑意义的技术特性是：采用全隐身与气动综合布局、持续的超音速巡航能力、过失速机动、短距起降、先进的机载设备和火控系统与综合航空电子系统。2005年12月15日，驻扎在兰利空军基地第一战斗机联队下属的第27战斗机中队成为首个装备"猛禽"战斗机的作战单位，标志着F-22正式服役。

14 X-15完成高超音速飞行

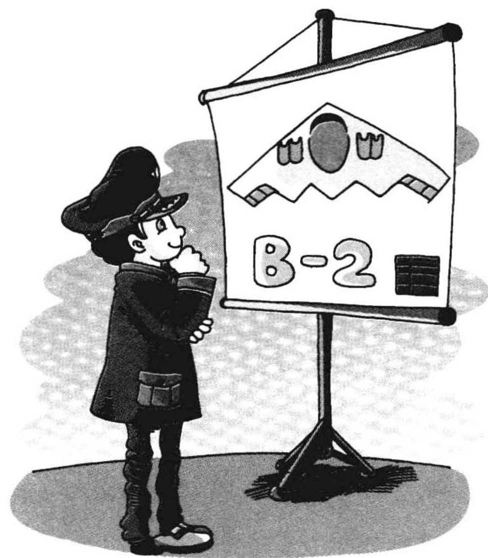
高超音速指飞行速度超过5倍音速，在11000米高空，这个速度大约相当于每小时5330千米，即每秒1500米左右。运载火箭、人造卫星在外层空间很容易达到和超过这个速度，但在大气层内，大气阻力和摩擦生热使有翼飞行器很难达到这个高速度。美国在20世纪60年代研制的X-15火箭试验机首先实现高超音速飞行。

X-15试验机计划的提出

航天先驱们在早期航天探索过程中，都认识到喷气推进的火箭由于不需要空气提供氧化剂，因而最适于作航天飞行的动力装置。在发展航天学理论的同时，他们也建议把火箭用做飞机的动力装置，研制火箭飞机。俄国的齐奥尔科夫斯基曾经预言火箭飞机将是航天发展的一个必经阶段。德国的奥伯特在其《飞往星际空间的火箭》一书中，明确提出把火箭发动机作为常规高空高速飞机的动力装置。罗伯特·戈达德是液体火箭的开创者。他在1931年6月9日获得了一项火箭飞机设计专利。在30年代以前，涡轮喷气发动机还未问世，螺旋桨飞机的种种限制使它的速度很难达到800千米/小时。因此，研制无需螺旋桨的火箭飞机成为早期探索者实现高空高速飞行的唯一有希望的途径。


X-51A 高超音速巡航导弹

上世纪30年代～40年代，德国和前苏联都进行了火箭动力飞机的实际研制，德国甚至还将火箭截击机装备了部队。但短时期的使用表明，火箭飞机飞行时间短，作战半径极小，且难于驾驶，危险性很大，因此没有在战争中发挥什么作用。人们从早期的火箭飞机研究和试验中认识到，火箭发动机不适于作常规飞机的动力装置。这一结论使火箭飞机几乎走上了绝路。



美国从40年代开始异军突起，从火箭飞机上找到了一条进行航空航天科学研究的途径，并且取得了很高的成就。X-1、D-588-1、X-2等火箭试验机不但多次创造飞行高度和速度记录，而且在高速空气动力学方面获得了大量宝贵的科学数据，为实用超音速飞机研制奠定了技术基础。

上述试验机的最大速度不到3倍音速，美国航空咨询委员会希望获得高超音速(5倍音速以上)空气动力学试验数据，因此必须研制高超音速试验机。50年代，美国政府对于纯科学研究项目不感兴趣，如果以纯高空高速研究计划的名义，政府不会给予支持。如果以提高军用飞机性能，探索安全、廉价、高速的民用飞机所需要的新技术的名义出现，研究计划容易被批准。当时美国空军、海军都在秘密或公开地进行各自的高速飞行研究计划。

航空咨询委员会作为航空技术的领导单位当然不甘落后。为了开展高超音速试验研究，兰利实验室提交了一份报告。这促使航空咨询委员会空气动力学专业委员会于1952年6月24日提出一项“关于载人或不载人、飞行高度达到19千米～80.5千米、飞行速度在M4～M10之间的太

空飞行器研究计划。”这个计划相当大胆，因为当时还没有一架飞行速度超过 M2 的飞机。航空咨询委员会在制定高超音速研究机计划时，紧紧抓住军事部门参加。美国空军也在努力使空军装备跃上新的技术水平，以便在世界上占据领先地位。航空咨询委员会、空军以及其他军事部门开始联合制定有翼亚轨道太空飞行器的计划，初步形成了研制X-15高超音速火箭试验机的构想。1954 年 7 月 19 日，航空咨询委员会与空军、海军联合召开会议，指出研制这样一种试验飞行器的必要性和总体方案的初步设想。这项高超音速试验机方案得到军方的支持，愿意作为三方联合研究计划。12 月 23 日，三方代表在协议备忘录上签字。航空咨询委员会负责技术指导，空军和海军出经费。

X-15 火箭试验机的研制

知识链接

X-15 试验机是美国先进高超音速试验机的典范。它运用先进的材料、结构设计制造方法和大推力火箭发动机，在 60 年代创下了有翼飞机的速度和高度记录。从常规的大气层内航空器角度上讲，X-15 的记录一直保持到今天也未被打破。

为了进行这项计划，航空咨询委员会各单位开始对高超音速和太空飞行的有关问题进行研究，包括高温结构、高超音速空气动力学、稳定与控制、飞行员行为与心理等特殊问题。1954 年，航空咨询委员会提出加速推进这项计划，在三年内设计制造出试验飞



机。当时提出了X-15试验机的设计原则:从空中发射,可以省去研制母机的费用并且自身可以减重;飞机尺寸大致是机长15米,最大重量13.6吨。

X-15的发动机是技术关键之一。由于在空中发射,并且在高速飞行状态下必须逐步提高速度,因而有许多特殊要求,一是推力必须在额定推力的30%～100%之间调节,并且具备高空再启动能力;其次,在点火程序上,为保证安全,发动机启动过程必须满足预定要求。1956年9月选定反作用发动机公司的XLR-99火箭发动机。它的最大推力为257.8千牛,采用液氧和苯氨作为推进剂,单燃烧室泵输入方式。发动机推力可在要求的30%～100%之间调节。

热障是超音速飞机设计的一大难题。X-15试验机飞行速度达到高超音速,气动加热更加严重。除了要有良好的气动外形外,对结构材料也有严格要求,不仅热强度要高,重量也必须很轻。它的高温结构材料要求在-180℃～650℃范围始终保持有足够的强度,并且要考虑弹性系数、强度重量比等因素,还特别考虑了材料的热传导性能、热膨胀系数、表面热辐射特性、抗氧化性能以及其他与温度有关的因素。X-15外蒙皮采用的镍基合金,占全部重量的17.5%。飞行时,X-15的机翼、尾翼前缘的温度约820℃,用镍基合金足以承受。

由于X-15的飞行高度更高,空气更加稀薄,普通气动操纵面的效率更低,甚至根本不起作用。因此必须采用反作用姿态控制系统。X-15上面安装的反作用发动机要求能多次启动,技术难度很大。按设计要求,它的机头上安装了4台小火箭发动机,机翼两侧各安装4台小发动机。发动机都采用单组元过氧化氢推进剂。

1958年10月,北美航空公司交付第一架X-15试验机——X-15-1。它全长15米,翼展6.86米,机高4米。机翼位于机身中后部,翼展很小,近乎梯形,有15度的后掠角。机身尾部装有带小反角的后掠水平尾翼。尾段上下各有一个面积很大的垂直尾翼和腑鳍,用于提高稳定性。机尾内安装XLR-99发动机和喷管。X-15空重6.8吨,最大起飞重量15.34吨,其中推进剂重量占全机一半以上。发动机在全动力下只能工作90秒。为

进一步节省推进剂，保证较长的飞行时间，在B-52炸弹舱内还设有一只辅助液氧贮箱，供X-15在分离之前使用。

从科学意义上讲，X-15试验机的主要任务是开展高超音速空气动力学研究，为此必须测量飞行中各种环境参数和飞行参数，包括气动加热、气动载荷、大气密度等。X-15机身周围安装各种测量热量、温度、压力的传感器。机头内装有惯性导航系统组件，用于测量飞行速度、高度及姿态数据。这些数据经过分析处理，能够获得高超音速空气动力学的某些特性和效应，具有重要的理论意义和实际价值。飞机上各种仪器仪表总重量达590千克，足见其科学研究使命。

X-15试验机的飞行

X-15-1首先与载机B-52进行适应性飞行试验，第一次在1959年3月10日。4、5月间又进行了3次类似试验。此后X-15-1使用两台代用发动机开始动力飞行试验。1959年6月8日，

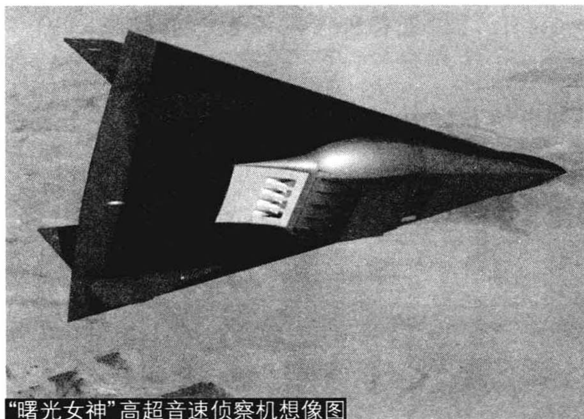


美国X-43A高超音速飞机

由飞行员格罗斯费尔德驾驶，X-15-1进行了首次自由飞行，这是一次滑翔飞行试验，没有启动自身发动机。1959年9月17日，第二架X-15-2进行了首次动力飞行。这次飞行带有检验和训练性质，没有创记录计划，因此速度限制在M2以下。它在11月的另一次飞行中，速度达到2.15倍音速。此后，两架X-15又进行了多次飞行，均由代用发动机作为动力装置。1960年5月12日，格罗斯费尔德驾驶X-15-1创造了飞行速度新记录——音速的

3.19倍。8月4日，试飞员瓦尔克驾驶X-15-1又将速度记录提高到M3.31。

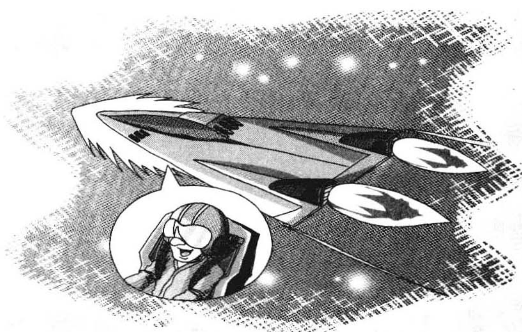
1960年11月15日，安装XLR-99发动机的X-15-2进行了新动力装置的首次飞行试验，显示了X-15试验机和发动机的潜力，证明完全符合设计目标。1961年2月7日，怀特驾驶X-15-1创造了M3.5的新速度记录。XLR-99发动机的生产型LR-99性能更加出色。3月7日，X-15-2由怀特驾驶进行了首次动力飞行，将速度记录提高到M4.43。从此，X-15试验机开始不断刷新飞行速度和高度的世界记录。


"曙光女神"高超音速侦察机想像图

1961年5月25日，瓦尔克驾驶X-15-2把飞行速度记录进一步提高到M4.95。一个月后，6月23日怀特驾驶X-15-2又达到了M5.27的速度，首次突破5倍音速大关，达到了高超音速。怀特和瓦尔克在10月的两次飞行中，分别驾驶X-15-2和X-15-1创造了M5.44和M5.74的新记录，已接近X-15设计速度M6。1961年11月9日，怀特驾驶X-15-2进行再创新记录飞行。当飞机从B-52载机上释放后，怀特启动发动机使飞机爬升到30千米高空。在发动机进入全推力工作状态后，怀特将飞机拉平，X-15-2达到了M6.04的预定速度。

1961年12月20日，安装XLR-99发动机的X-15-3进行了首次飞行。1962年1月10日，彼得森驾驶X-15-1进行了一次异地起降飞行。10月11日，怀特驾驶X-15-2创造飞行高度65千米的新记录。接着瓦尔克于1962年4月30日驾驶X-15-3达到了设计高度：78千米。这样在总计36次飞行中，X-15的设计速度和高度目标均已达到。

鉴于X-15试验机能够达到高超音速和大气层外的高度，具有很大的科研和应用潜力，美国宇航局于1962年4月13日宣布了一项为期2年共



35 次飞行的研究与试验计划，执行新的空气动力学和太空科学试验。X-15-1 和 X-15-2 两架飞机都根据新的研究与试验任务作了相应改装，以便安装新仪器设备。

1962 年 6 月 12 日，怀特驾驶 X-15-3 飞到了 55 千米高。6 月 21 日，怀特又飞到 74 千米高空。7 月 17 日，怀特驾驶 X-15-3 首先达到 90 千米的新高度。1963 年 7 月 19 日，瓦尔克驾驶 X-15-3 达到了新的高度——105 千米。1963 年 8 月 22 日，瓦尔克驾驶 X-15-3 再次创造飞行高度新记录:107.9 千米。在最高处，他经历了 3 分钟时间的失重感觉。这个高度记录以后再未被打破，一直保持到今天。

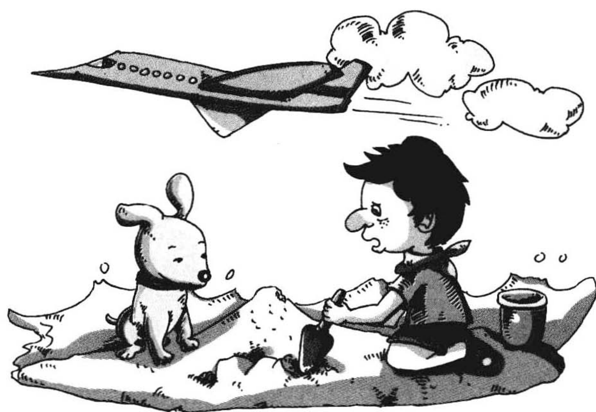
在 X-15 火箭试验机计划执行期间，共计飞行了 199 次，创造的最高记录是:最大速度为音速的 6.72 倍 (M6.72)，最大高度 107.9 千米。

X-15 火箭试验机计划从 1954 年正式开始到 1968 年结束，前后历时 15 年，耗资达 3 亿美元，代价极其昂贵。这是一项高度成功的高超音速研究计划，获得了极大的技术回报，在高超音速空气动力学、气动加热、无动力滑翔、着陆技术、有翼太空飞行、结构设计、材料技术、稳定与控制等方面都取得了前所未有的成就和大量科学数据，这些成果对美国载人宇宙飞船设计、航天飞机研制都提供了相当大的技术指导。

15 超音速客机的诞生与身退

喷气式客机趋于成熟后，人们又把注意力放到超音速客机身上。如果民航客机能够实现超音速飞行，将使飞行速度提高两倍以上，大大缩短长途飞行的时间。但是超音速客机并不像亚音速客机那样一帆风顺。经过了近二十年的努力，只有两种超音速客机在航线上使用过，且都先后退出了舞台。这就是英法联合研制的“协和号”和前苏联的图-144 客机。

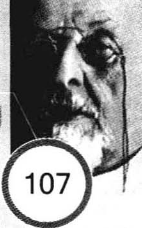
图-144 超音速客机

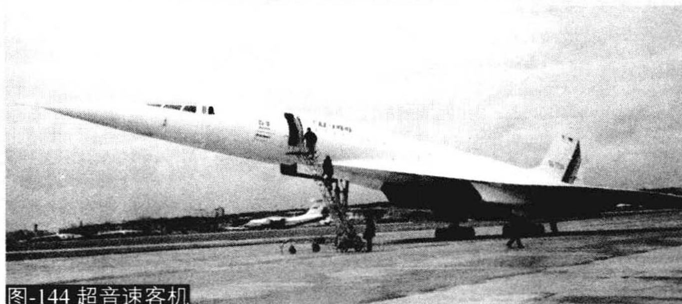


实际上自 60 年代以来，世界上共有三个型号的超音速客机投入研制，除了上述的“协和”式和图-144 以外，还有美国波音公司的波音 2707-300。它的马赫数设计为 M2.7，计划载客 250 人。后来由于波音 2707 的研制方案出现了反复，以致进度落后于“协和号”。后来美国政府又撤消了对波音 2707 的财政支持，波音公司被迫放弃这一计划。

从计划起源上看，前苏联的超音速客机晚于“协和”式，但首次试飞却早于“协和”式。60年代初，当前苏联得悉美国、西欧准备研制超音速客机后，仓促上马研制超音速客机。

图-144 与“协和”式一样采用下单翼结构，狭长的三角翼，无平尾，可下垂的机头。四台发动机也分别下挂在机翼下侧。图-144的巡航速度为 2.35 马赫，最大航程 6500 千米，载客 140 人。图-144 的设计方案于 1965




图-144 超音速客机

年 9 月在前苏联公开展出。1968 年 12 月 31 日，第一架原型机制成并进行了试飞，创下了一项世界第一的记录。经过大约三年的试飞，图-144 进行了重大的改动，并于 1973 年投入批量生产。

1973 年 6 月 3 日，图-144 在参加巴黎国际航空展览时，突然坠毁，机上人员全部遇难。根据当时的报道，参展的图-144 已经试飞过 100 余次，飞行时间约 300 小时。在此次航展上，该机共进行了两次飞行表演，且都是在协和号表演之后进行的。6 月 2 日进行的第一次表演是专门为专业人员举行的，6 月 3 日的则是为 35 万观众进行的公开表演。在最后一次穿场飞行时，该机空中解体，坠落在距机场几千米外的村庄，6 名机上人员全部死亡。

事故后，法国有关部门组织了调查，前苏联方面有 8 人参加。关于事故的原因做出了各种推测，如前操纵面失速、发动机熄火等等。

知识链接

图-144 的坠毁，是超音速客机第一次发生的重大事故。这一事件使前苏联推迟了该机交付民航使用的时间表。直到 1976 年 12 月，图-144 才开始在国内航线上使用，主要是用来进行货运和邮运。1977 年 11 月，图-144 在莫斯科到阿拉木图的航线上定期运载旅客。大约在百余次飞行之后，又因发生事故而暂停了飞行。

1979 年前苏联生产出图-144 的改进型图-144D，采用涡轮风扇发动机，它在经济性、噪音等方面都有很大改进，在 1981 年投入航线使用。但后来因前苏联民航当局认为运行收益不大，没有继续发展使用。1984 年，图-144 全部退出商业航线。

20 世纪 90 年代，根据发展第二代超音速客机的需要，俄罗斯、美国等

都在进行试验研究。美国宇航局制定了研究计划。为此，美国宇航局计划重新启用俄罗斯的图-144超音速客机。1994年俄罗斯总理切尔诺梅尔金与美国副总统戈尔签署协议，改装一架图-144D 客机，开展高速飞行试验。改装的图-144D



客机是1981年生产的，仅飞行了82个小时。改成高速试验飞机后，定名图-144LL。试验的目的是为 21 世纪发展第二代超音速客机服务。俄罗斯的几家公司也参加进来。

图-144LL试验机进行了一些改进，包括安装了推力更大的NK-321涡扇发动机，这是用于图-160上的发动机，可使飞行速度达到M2.3，航程提高到6500千米。安装了新的综合数据系统，飞机表面安装了大量压力、温度等传感器，安装了一些新仪表，更新了弹射座椅。

最初提出进行50项试验，第一阶段飞行试验选择了其中的8个，涉及飞机外表面、内部结构、气动边界层、发动机温度、机翼地面效应、内部和外部噪音、操纵品质、飞行期间的结构灵活性，地面试验主要是进气道进气特性等。第二阶段试验，安装了新的仪表，试验内容包括测量飞机头部压力、大迎角特性、机翼涡流，亚音速和超音速操纵品质等。两个阶段的试验从1996年开始到1999年4月结束，期间共飞行了8次，其中3次是超音速飞行。

“协和”式超音速客机

20世纪50年代，英国皇家飞机研究院也开始研究超音速战斗机和轰炸机问题。1954年2月，皇家飞机研究院空气动力学部成立了一个研究小组，研究高亚音速和超音速战斗机和轰炸机的可行性。在小组的一次会议上，又提出开展超音速客机的初步研究和设计工作。



协和超音速客机

研究小组做出的第一个规划目标是：设计两倍音速客机，航程达到中远程，至少能从欧洲大陆飞越大西洋到达纽约。在这个目标指导下，研究小组利用现有技术进行了初步设计：细长机身，两头为尖锥形，中间为细圆形，这样可以大大减小超音速波阻；展弦比为2的梯形机翼；常规尾翼组件。为了改善起飞降落时的低速特性，提高升阻比，计划采用大面积襟翼，以保证在低速时有足够的升力系数。乘客数为52座。进一步研究表明，这项设计达不到预定目标。

1956年初，皇家飞机研究院基于后掠翼技术和面积率理论，提出了一项马赫数1.2的超音速客机方案。航程仍以飞越大西洋为基本目标，乘客数应与亚音速客机相当。方案设计的特点是大后掠、薄翼型机翼，蜂腰状机身(面积率)，机身形状也不是圆柱形。另一个备选方案是M形机翼，即内半机翼前掠，外半机翼后掠。当时新技术的发展，喷气发动机成熟和这两个方案的提出，导致英国于1956年11月5日成立了超音速运输机委员会。在此之后，又提出了马赫数为2的指标，并出现了几种设计方案，都达不到应有的性能指标。

50年代中期到60年代初，正是三维分离和涡动力学蓬勃发展的时期，而且已经取得了惊人进展并且许多理论上的预言已得到了风洞试验的证

实。更为重要的是，为涡动力学做出开创性贡献的一大批卓有成就的气动学家如屈西曼、马斯克尔、威伯、史密斯等人都集聚在超音速运输机委员会。这些人掌握的新气动理论背景和承担的超音速客机方案设计任务的完美结合，最终导致了“协和”式飞机优美的细长S形前缘机翼这一关键设计方案的出现。

“协和”式方案的形成分为四个阶段。第一个阶段是前面介绍的涡动力学，即勒让德、马斯克尔、屈西曼、威伯等人的理论研究。他们的研究成果表明，细长机翼前缘结构产生内分离而形成旋涡。这种脱体涡能给主翼段提供很大的附加升力。这种升力在低速或大迎角形态下更加明显，对全部升力贡献更大。

第二阶段，屈西曼以他丰富的理论知识和敏锐的直觉抓住了这个全新的气动升力机理，与马斯克尔合作，于50年代中期系统研究了可控流动分离问题，亦即，前缘产生分离而形成的有利旋涡(脱体涡)是否稳定，是否能控制它从机翼后缘拖出，以保证旋涡产生的非线性升力确实能在设计中使用。有效利用脱体涡导致新型机翼设计，它是各种大后掠、细长、锐缘三角机翼的某种变形，即细长S型。

第三阶段是完成细长机翼气动力设计原则，即必须证明上述原理的确能完成一架能满足既定目标的飞机。它能完成所要求的任务，而且在低速飞行和高速飞行要求之间必须没有根本的矛盾。低速性能主要包括起飞和着陆阶段的升力系数和升阻比。这两个参数很低意味着起飞、着陆距离很长。细长S前缘三角形机翼由于有效利用了脱体涡升力，因而完全能满足在低速、大迎角情况下，提供所需要的升力。

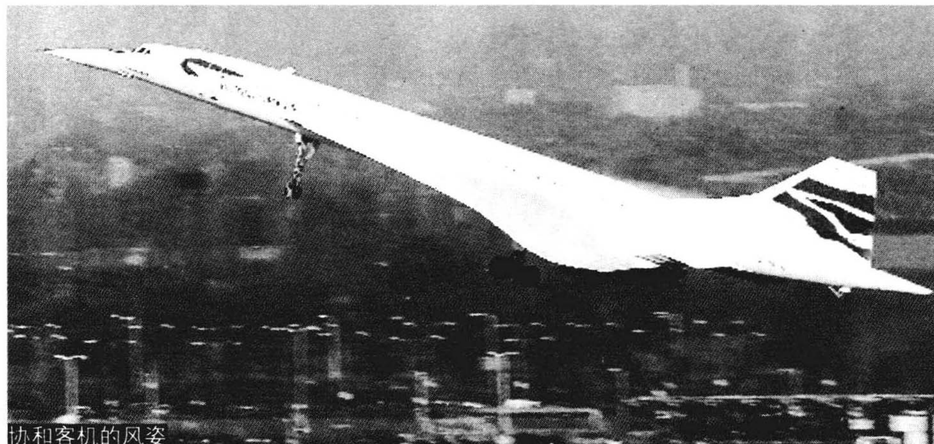


第四阶段是具体设计，包括综合选择机身长度、体积、翼展、展弦比等参数来最大限度地减少波阻、涡阻、摩擦阻力和提高升阻比，以求得最佳参数值。屈西曼根据各种阻力的分布，找出了飞机外形一组最佳参数。它的特性与后掠翼飞机显著不同：后掠翼飞机巡航时升阻比最大，低速时由于增升装置，升阻比显著下降。细长机翼在低速时升阻比比巡航时要大得多。

“协和”式的运行与退役

“协和”式的正式研制始于1962年。法国南方航空公司也曾提出了一种速度、航程和气动布局都十分接近的方案。由于研制费用极高，英法两国达成协议，合作研制，平均负担费用。

“协和”式飞机的机体研制由改组后的英国飞机公司和法国国营宇航公司共同进行。发动机由英国罗尔斯·罗伊斯公司和法国国营航空发动机公司共同研制。最初的计划是研制两架原型机，研制费1.5亿英镑。1966年英法双方决定扩大研制规模，增加两架预生产型和两架供静力试验和疲劳试验用的机体。研制费增加到5亿英镑。“协和”式飞机的原型机于1965年初开始制造，1969年4月9日进行了首次试飞。1971年底和1972年初两架生产型也交付并投入试飞。1976年1月，“协和”式投入航线飞行。至此，英法政府已经投资了8亿英镑。


协和客机的风姿



“协和” 飞机自1976年投入使用后，已飞行了近25年，运载旅客200万人次以上，尽管航空界对其褒贬不一，但它取得的技术成就对今后航空事业的发展无疑是有着巨大的影响的。然而，尽管在技术上“协和”式是成功的，但在商业上它却是个失败者。“协和”式有三个影响其商业性能的弱点：第一，经济性差，由于成本高，“协和”式的票价比亚音速飞机的头等舱还贵出20%。如此昂贵的票价使大多数乘客望而却步。航空公司也不敢多订货。第二，航程短。“协和”式的航程为6230千米，这一航程无法发挥超音速飞机的优势。特别是在太平洋航线上，“协和”式难以发挥作用，这些航线仍然是亚音速飞机的天下。第三，噪音污染严重。“协和”式由于音爆水平高，所以被限制不得在大陆上空进行超音速飞行。

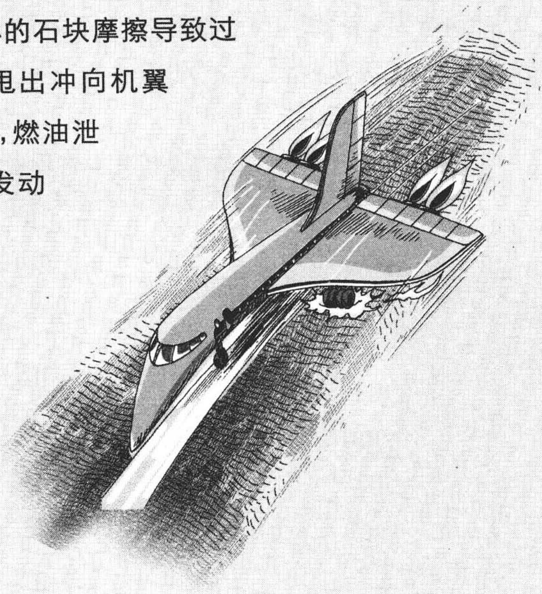
由于噪音问题和经济性差，美国各大航空公司纷纷终止了与英法签订的订货合同。这对“协和”式的发展是一个严重的打击。不过，“协和”式的设计在技术上是十分成功的，特别是在气动外形设计上首次利用了脱体涡型产生升力，导致了飞机空气动力学设计上的一场革命。

2000年，“协和”式从未发生灾难性事故的神话终于被打破了。5月25日下午4时42分(当地时间)，100名来自德国、丹麦、美国和奥地利的乘客，在巴黎搭上豪华的“协和”式客机，准备去纽约和厄瓜多尔做为期两周的旅行。不想，约两分钟后，由于飞机起火坠毁，他们和9名机组人员、

4名地面上的无辜者一起葬身火海，令人为之痛惜。

这架法航AF4590航班客机是由德国戴尔曼旅游公司包租的，从巴黎附近的鲁瓦西机场起飞。飞机起飞不久就着了火。下午4时44分，飞机掉落在巴黎附近的高乃斯镇，撞到了一家旅馆，马上发生大火，飞机被全部烧毁。

英法两国专家对事故进行调查表明，“协和”式坠毁的原因是一只起落架轮胎在跑道滑跑时与细小的石块摩擦导致过热而着火。破碎的橡胶块甩出冲向机翼上，将里面安装的油箱击破，燃油泄出，引起大火，进而使左侧发动机失去推力。二号起落架无法缩回，轮胎爆胎；但前进冲力已达时速300千米，驾驶员已无法停止飞机起飞。同时与二号并列的第一号发动机也发生故障。发动机推力的不平衡使协和飞机偏离航线，导致飞机失控而坠毁。

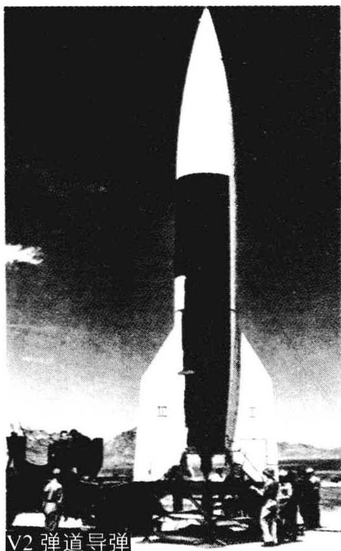


经过一年多的调查和部分改进、试验后，伦敦当地时间2001年7月17日14时(北京时间7月17日22时)，在发生空难一年后，英国航空公司的一架“协和”式客机成功地完成了首次超音速试飞。它在英国时间下午两点从伦敦希思罗机场起飞，在大西洋上空飞行大约3小时20分钟，在下午6点返回伦敦西部的皇家空军机场。在试飞过程中，协和飞机达到了最高设计时速——每小时2200千米。2003年，英、法两国政府决定，“协和”式客机永久退出航线。

16 第一颗人造卫星诞生

二战结束后，东西方冷战极大地促进了火箭技术和弹道导弹的发展，也为航天运载火箭研制奠定了技术基础。1957年8月，前苏联率先发射成功洲际导弹，并将其改装成运载火箭。1957年10月4日，前苏联发射成功第一颗人造地球卫星，人类从此进入了航天时代。

前苏联弹道导弹的发展


V2 弹道导弹

1945年夏，德国首都柏林被盟军占领。早在1944年，盟军已获取了德国在佩内明德的秘密武器研究基地，英国还派出了轰炸机对其进行了轰炸。大战一结束，苏美两国都争先恐后地进入佩内明德，美国俘获了大批德国火箭专家和V-2导弹及元部件，前苏联也获得了一批技术人员和V-2导弹。1945年秋，科罗廖夫、格鲁什科、皮柳金等前苏联火箭技术专家被派往德国了解德国火箭技术情况。德国火箭技术在前苏联发展导弹中发挥了很大作用。

1947年10月30日，前苏联组装的第一枚V-2导弹在斯大林格勒附近发射成功，射程为270千米。在德国火箭技术的基础上，前苏联开始仿制V-2导弹，定名为P-1。在V-2基础上改进设计了P-2导弹，射程为590千米。20世纪50年代，前苏联在改进的P-2导弹上加装RD-101发动机，成为SS-3中程导弹，射程达到1800千米。1952年至1953年间，格鲁什科领导设计了RD-103发动机，采用煤油和液氧作为推进剂，真空推力为50吨。1955～1957年研制的RD-214火箭发动机具有4个燃烧室，推力为74吨。

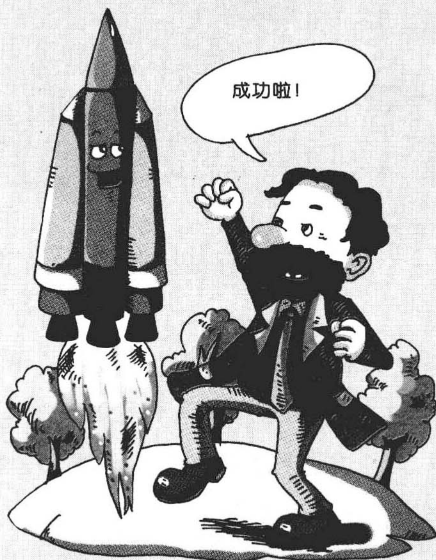
以它为动力研制的SS-4中程导弹长20.7米,射程为2000千米,于1956年4月首次进行飞行实验。

中程弹道导弹研制成功后,前苏联又紧接着开始研制远程及洲际导弹。研制洲际弹道导弹存在许多技术困难,主要有两个:一是研制大推力液体火箭发动机,一是解决多级火箭技术。

知识链接

前苏联第一枚洲际导弹命名为P-7。它是两级液体火箭,由一个配置在中央的较长芯级和4个配置在其四周的较短的助推级并联而成。采用这种结构形式既可以避开第二级发动机高空点火的困难,又可降低火箭的总高度,从而可减少火箭对风载的敏感性。第二级(芯)长28米,最大直径2.95米,向下逐渐收缩,到尾段处直径为2.2米。助推器全长19米,最大直径3米。助推器和芯级都是独立的系统,各有自己的推进剂贮箱和发动机,彼此之间没有液压和气管路连接,只保持电路连接。助推器通过两个承力结构和芯级固定在一起。

P-7导弹的两级发动机均采用液氧和煤油作为推进剂。中央芯级装有一台RD-108发动机,地面推力为76吨,真空推力93吨。芯级发动机工作时间很长,达300秒以上。四个助推器各装一台RD-107发动机,地面推力为83.7吨,真空推力102吨。P-7导弹全长约29米,最大宽度约10.3米,起飞重量267吨,最大起飞推力486吨。



1957年8月21日,世界上第一枚洲际弹道导弹P-7成功地进行了全程试射试验,射

程达到8000千米。这次成功具有多种意义：一是前苏联抢在美国之前（提前6个月）发射成功洲际导弹，使东西两大阵营的军事力量对比发生了重大变化，提高了社会主义阵营的国际地位；二是为前苏联率先跨入航天时代奠定了坚实的技术基础。

虽然P-7导弹（西方称SS-6，警棍）是世界上第一枚洲际弹道导弹，但从实际使用上看，它并不具备战略价值。原因是它的发动机采用了不可贮存的液氧和煤油作为推进剂，机动性、灵活性和应变能力受到极大限制。不过，以它为基础改进研制的运载火箭在前苏联航天事业中立下汗马功劳，是世界发射次数最多的运载火箭系列，共发射了2000多次。

人造卫星研制设想

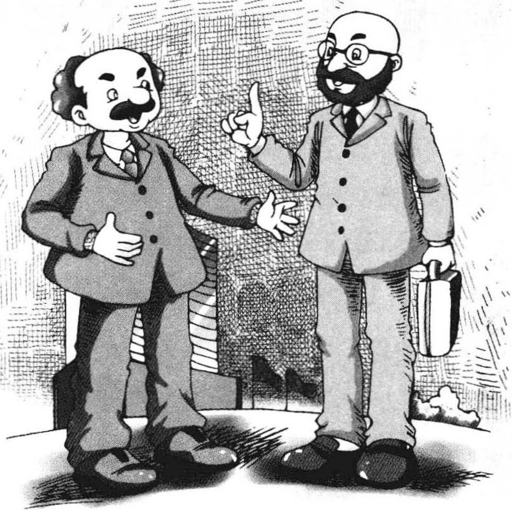


研制人造地球卫星的思想由来已久。早在1687年牛顿就在《自然哲学的数学原理》中谈到有可能以极大的初速度抛出一颗不再落回地球的物体（人造地球卫星）。此后，又有一些科学家谈到发射人造卫星的可能性。20世纪初，航天先驱通过大量的研究论证了利用火箭可以发射绕地球运行的人造卫星。

第二次世界大战结束后，许多国家都有科学家研究发射人造卫星的可能性，并建议为了和平目的和开发宇宙的需要研制发射人造地球卫星。

1946年9月在巴黎召开的第六届国际实用机械会议上，美国加州理

工学院的马林纳和索末菲宣读了《利用火箭远离地球的问题》，倡导发展用于研究外层空间的火箭。美国的海军航空局和空军的兰德公司也曾建议于1951年发射小型卫星。1951年举行的第二届国际航空联合会议又有许多人提出发射人造卫星和载人太空站的倡议。英国星际航行协会的盖特兰德等人在1952年3月22日提出利用三级火箭发射人造卫星的建议。



科学家们的极力倡导和许多有关太空飞行文章的预测，不仅引起了许多政界人士包括美国总统艾森豪威尔和杜鲁门的注意，更引起了一般公众的极大兴趣。

1954年，许多国家的学者聚集奥地利首都维也纳，召开了“1957年7月至1958年12月国际地球物理年准备会议”，正式确认：1957年7月1日至1958年12月31日为“国际地球物理年”(IGY)。会议期间，国际地球物理年计划委员会通过一项正式决议，要求与会国对于在地球物理年利用人造地球卫星研究地球环境的问题给予关注。这就更加使人清楚地看到发展人造卫星的必要性。1954年夏，国际无线电科学协会(ISRU)和国际地形学和地球物理联合会(IUGG)通过了在地球物理年间发射一颗人造地球卫星的决议。这一决议得到美、苏等国的积极响应和支持。

在前苏联，由于科学家和火箭专家的倡议，人造卫星计划也得到赫鲁晓夫的支持。前苏联航天专家吉洪拉沃夫是人造卫星的热心支持者。早在1934年，他就提出用火箭把人造卫星发射到同温层和宇宙空间的设想。在1948年军事弹道科学院的年会上，吉洪拉沃夫作了题为《在现代技术水平下借助空间火箭达到第一宇宙速度和制造人造地球卫星的可能性》的报

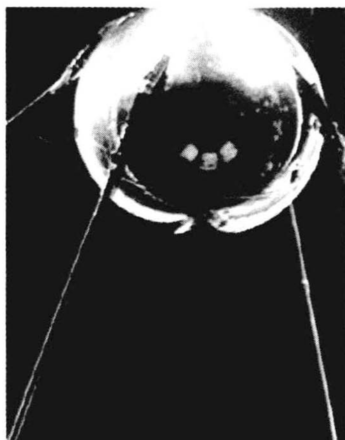
告，引起了科学家们的充分注意。

1954年，吉洪拉沃夫提出论证人造地球卫星可行性和必要性的建议，他在《关于人造地球卫星》的报告中，充分论证了利用二级火箭可以达到第一宇宙速度并可用于发射人造卫星。当时前苏联正在研制中程导弹和二级洲际弹道导弹，科罗廖夫认为洲际导弹稍加改进就可以作为发射卫星的运载火箭。

1954年5月26日，科罗廖夫致函苏共中央："遵嘱呈上吉洪拉沃夫同志《关于人造地球卫星》的报告。"他指出："目前正在研究的末速度为7000米/秒的新产品有可能使人造地球卫星于近年内制成。用减少若干有效载荷的办法，可使发射卫星所需要的末速度达到8000米/秒。我认为，现在成立一个科研机构，对卫星的初步探索工作以及进一步详细研究与此有关的种种问题是适宜的。"

前苏联科学院和凯尔迪什、谢多夫等领导对科罗廖夫、吉洪拉沃夫的报告给予了高度重视。在科学界大力倡导下，前苏联政府于1956年1月30日正式做出在1957～1958年内研制人造地球卫星的决定，并开始制定卫星的技术要求。

第一颗人造卫星发射成功


前苏联发射的人类第一颗人造卫星

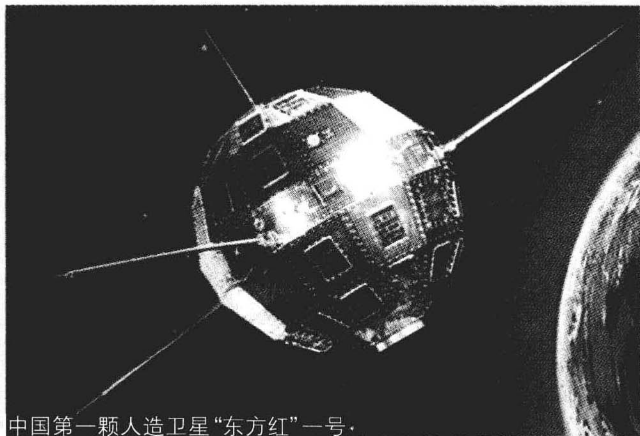
前苏联的第一颗人造卫星计划包括四个组成部分：1.研制运载火箭；2.建设发射场；3.研制卫星本体和星上科学仪器；4.建立地面测控网。

研制运载火箭任务实际上同发展洲际弹道导弹是一致的。为了发射人造卫星和达到第一宇宙速度的要求，对P-7导弹进行了改进，主要的是取消了武装部有效载荷。这枚运载火箭是以科罗廖夫为主主持设计和研制的，定名卫星号运载火箭，起飞

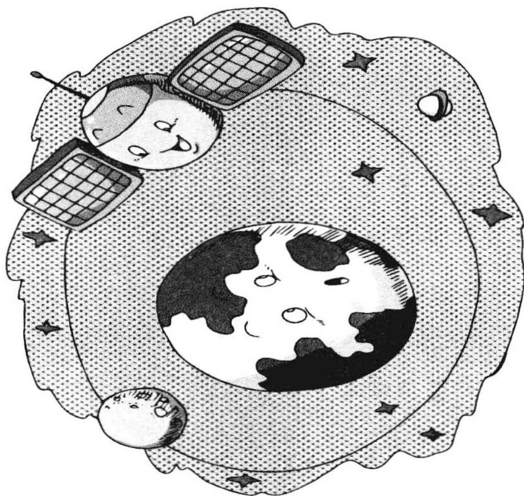
推力为498吨。在将P-7洲际导弹改装成卫星号运载火箭时曾作了一些改动。为了将所需要重量的卫星送入预定轨道,需要调整芯级发动机的工作状态,以获得最好的效果。卫星号运载火箭在发射卫星过程中,起飞时5台发动机在地面同时工作。飞行120秒后,将4个助推器抛放,这时火箭的飞行高度大约为50千米,飞行速度为3200米/秒。然后芯级以最大推力继续工作180秒,将火箭加速到卫星入轨所需的每秒8千米的速度。

前苏联在1954年就做出了建立航天火箭发射场的决定。科罗廖夫等参加了火箭发射场的选址和发射场各项业务的计划,以及对设计任务的分析研究。首座航天发射场定在哈萨克斯坦苏维埃社会主义共和国境内的丘拉塔姆地区,离拜科努尔不远的沙漠地,1955年1月开始建设,定名为拜科努尔航天发射场。

前苏联的第一颗人造卫星代号CП-1,它是的外形是一个铝合金的密封球体,直径0.58米,重83.62千克。卫星周围对称安装四根弹簧鞭状天线,倾斜伸向后方,其中一对长2.4米,另一对长2.9米,卫星内部充以0.12兆帕(1.3大气压)的干燥氮气。下半球壳表面是热控制系统的辐射表面;上半球壳外部装有隔热层。前苏联科学院确定卫星的主要科学探测项目有:测量200～500千米高度的大气速度、压力、磁场、紫外线和X射线等数据。为此卫星本体内安装了电池组、无线电发射机、热控制系统组件、转接元件、温度和压力传感器和其他探测仪器。


中国第一颗人造卫星“东方红”一号

1957年8月,P-7洲际导弹首次试验成功。与此同时,改装卫星号运载火箭的工作也在科罗廖夫的领导下迅速进行。1957年10月4日晚, 卫星



号运载火箭携带世界上第一颗人造地球卫星CП-1号在前苏联拜科努尔航天发射场发射成功。它先进入近地点215千米,远地点947千米,轨道倾角65度,周期96.2分的椭圆形轨道。它共在轨道上运行了92天，绕地球飞行约1400圈，并于1958年1月4日再入大气层时烧毁。

这颗人造卫星在技术上进行了星内温度压力试验，地上大气密度测量和电离层研究,并用卫星探测出几百千米高空的空气阻力。但同它的科学研究结果相比,它的政治影响和对科学技术发展的影响更加深远。对全人类来说,前苏联人造地球卫星的发射成功标志着航天时代真正到来了。

1957年10月4日午夜,莫斯科电台向全世界公布了前苏联首颗人造地球卫星已成功发射进入轨道的消息。塔斯社宣称:“人造地球卫星开辟了星际航行的道路。”不久,世界各地都能通过无线电接受到这颗卫星从天空发射出来的“滴……滴”声响。在政治上,它表明苏美太空竞赛的第一个回合的胜利者是前苏联,由于前苏联的广泛而成功的宣传,以至于在世人的眼中,前苏联在科学上占据了领导地位。

17 加加林首飞太空

飞天,是古代人千百年来的梦想。20世纪初航天先驱们所设想的目标也是载人太空飞行。随着火箭技术的发展和航天时代的来临,这一宏伟目标正一步步变成现实。1961年,前苏联宇航员加加林首飞太空,终于圆了人类飞天之梦。

东方号载人航天计划

载人太空飞行是20世纪初一大批航天先驱者梦寐以求的事业,火箭专家科罗廖夫也同样把载人航天作为他的主要努力目标,并千方百计以他的影响力促成载人航天飞行目标早日实现。前苏联在1957年11月发射的第二颗人造卫星,设置了一个密封舱和生命保障系统,里面装了一只名叫"莱卡"的小狗。这颗卫星实际上可以看做是第一艘宇宙飞船,"莱卡"也可看做是第一名宇航员。在火箭点火、发射、加速,卫星入轨以及失重等飞行条件下,这只小狗感觉似乎很好。


科罗廖夫

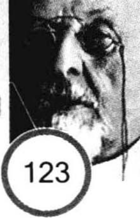
按照技术发展特点和规律,从人造卫星到载人飞船的过渡应当有一个较长的时间。研制运载火箭、宇宙飞船以及解决载人问题,需要较长时间研究解决一个个技术问题,同时还必须对宇宙空间环境及其对人的影响有较深入的认识。太空生物医学、太阳辐射以及微流星等等,都是人类从未遇到过的新问题。在正常情况下,必须在一切相关问题都已圆满解决、新问题都已得到充分认识、近于万无一失的情况下,才会最终把人送上地球轨道。但是,20世纪50年代末的政治、军事、科技以及感情等各种因素的综合,导致正常的科学规程被打破了,竞赛意识占据了上风。



20 世纪 50 年代后期，美国已宣布开展载人航天飞行计划。面对激烈的太空竞赛，科罗廖夫认为，只要抓紧时间并做出努力，前苏联有可能尽早发射载人飞船。1958 年期间，科罗廖夫向前苏联领导人通报了利用现有技术，改进 P-7 火箭实现载人太空飞行的可能性。

赫鲁晓夫对太空飞行也显示出异乎寻常的兴趣，这或许是基于政治和外交上的考虑。第一枚洲际导弹试射成功，第一颗人造卫星发射入轨，都为社会主义阵营、为前苏联和他本人带来了莫大的政治利益。对赫鲁晓夫来说，前苏联航天技术的每一次重大成就都有助于前苏联国际地位的提高，有助于加强他在外交谈判上的力量，也有助于提高他个人的威望。由于他本人性格上的特点，他也确实在各种场合上不失时机地夸耀前苏联的新成就。1960 年在他访美之前，曾要求发射一枚火星探测器，以壮访美声势。可惜发射失败了。由于这些原因，加之 1958 年 10 月后美国大肆宣传其载人航天计划——水星计划，强烈的好胜心和同美国竞赛的决心促使他很快做出决定，加速推进前苏联的载人太空飞行计划。

科罗廖夫在设计第一枚洲际导弹及卫星号运载火箭过程中，起飞推力很大和留有较大的余量或许就是为了为载人航天作技术准备。前苏联用于载人航天的第一种运载火箭东方号运载火箭大致就是在卫星号火箭基础上加装第三级构成的。这些早期工作表明，前苏联航天界早已有了载人太空飞行的思想准备和行动。这也恰恰是前苏联最先取得成功的原因之一。



载人航天工程进展

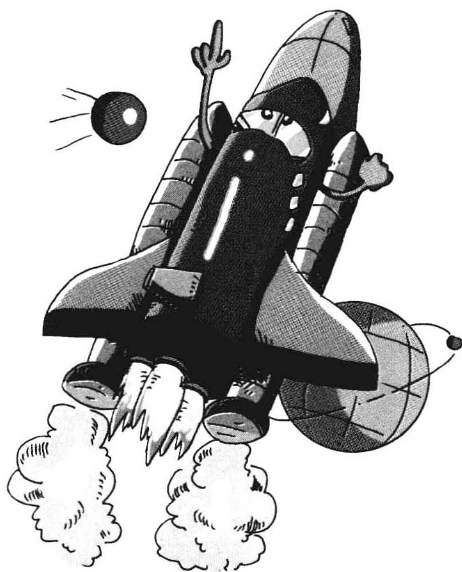
载人航天面临着许多要解决的新问题。过去人们一直在从理论上和间接的实验上研究失重对人的生理和心理状况的影响，包括身体各部位的协调、血液的流动，以及思维的活动等等。研究者几乎都认为短期失重对人身体的不良影响不大。前苏联还发射探空火箭进行生物和小动物的高空实验，取得了一些初步成果。前苏联第二颗卫星也许是失重反映的最好验证了。那只小狗在失重状态下似乎感觉不错，只是卫星无法回收而终归丧命。这次试验表明短期失重对大动物产生的影响并不大。这次成功更增强了人们对载人飞行的信心。



载人太空飞行的另一个重大问题是太阳辐射和微流星对宇宙飞船和宇航员的影响。前苏联和美国利用探空火箭和人造卫星携带有专门的宇宙线探测仪和微流星收集器。过去人们一直认为，微流星可能会对飞船带来很大威胁，但大量试验和探测表明，微流星的数量、密集度和大小并不像原来想像的那么严重，防护措施也不必那么复杂，宇宙线和太阳辐射也可以通过特定的防护措施加以屏蔽。这些问题按照当时的技术水平，都是可以解决的。

1958 年前苏联载人太空飞行的研究工作正式推进起来。到 1958 年 8 月，不同方案的可行性研究先后完成。首次载人太空飞行采取何种形式明显地分成两种观点。一种主张像美国那样，首先进行亚轨道飞行，即载人

飞船只在地球轨道上飞行一段，而不是绕地球飞行一周。另一种观点则认为首次飞行即应采取轨道飞行方式。经过一番热烈的讨论，在科罗廖夫的支持下，最后决定直接进行载人轨道飞行，理由是：第一，亚轨道飞行几乎要做与轨道飞行完全相同的工作和努力，难易程度并没有很大差别；第二，轨道飞行面临的重大问题无非是长时间的失重和太阳辐射及流星体的影响，这些问题可通过几次不载人试验加以认识；第三，亚轨道飞行也要解决最关键的再入和回收这一严峻的问题，从安全上看，这两种飞行方式差别不太大；第四，亚轨道飞行的成果比轨道飞行逊色得多。



"东方号"宇宙飞船系统方案的详细技术评价工作于 1958 年 11 月开始。1959 年初，第一艘载人飞船开始实际设计。与此同时，飞船各分系统的设计也分头进行，这些工作包括高度控制、通信、轨道转移等分系统设计。到 1959 年底，飞船的设计工作全部结束。

"东方号"飞船由两部分组成，上端是球形乘员舱，直径 2.3 米，重 2.46 吨，乘员舱外部有两根遥控天线和顶端安装的通信天线，通信电线下端是一个小型通信电子设备舱。乘员舱侧面有一个观察窗和一个弹射窗，内部除装有生命保障系统及食物外，还有一台电视摄像机、一个光学定向装置、一个宇航员观测装置和宇航员应答装置。宇航员在飞行过程中一直躺在弹射座椅上，生命保障系统可供宇航员生存 10 昼夜。飞船的下端是仪器舱，它呈圆台圆锥结合体，最大直径 2.43 米，高 2.25 米，重 2.27 吨。在紧靠宇航员舱处有 18 个球形高压氮气和氧气瓶。气瓶下面是圆台形仪

器舱，它的侧面有3根鞭状天线，再住下则是反推发动机和内部推进剂贮箱。反推火箭用于飞船再入前变轨制动，发动机采用硝酸和苯氨作为推进剂，推力1.614吨，能把飞船的速度减到155米/秒。

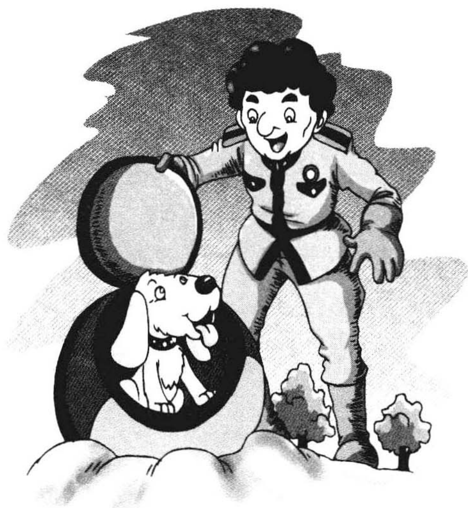
“东方号”运载火箭采用与卫星号相同的助推级和第一级，发动机的性能有所提高，最大起飞推力提高到4942千牛，运载能力约4700千克。第二级是柯兹贝克设计局新研制的PO-7液体火箭发动机，采用液氧和煤油作为推进剂，长3.1米，直径2.58米，比冲316秒～326秒，推力为54.5千牛。PO-7发动机是前苏联第一种能在真空条件下工作的火箭发动机。

加加林首飞太空


尤里·加加林

在正式载人飞行之前，要进行几次不载人飞行，用于考察飞船在轨飞行过程中的设计特性和载生物及回收的可靠性。1960年5月15日，第一艘“东方号”飞船发射，由于不回收，飞船没有防热烧蚀层，只进行制动火箭试验。飞船在轨道上共飞行了3天，5月18日试验反推减速火箭。由于点火时飞船的方向差了180度，结果飞船没有进入下降轨道，而是进入了一条更高的轨道。1960年7月23日，另一艘“东方号”飞船计划发射，但由于运载火箭发生故障，飞船没有进入轨道。1960年8月19日，第三艘“东方号”飞船发射，飞船上载有两只小狗。“东方号”飞船在轨道上飞行了约1天。当反推火箭点火后，仪器舱与再入舱正常分离。在距地面有一定距离时，载有动物的小舱室弹出主舱外并安全回收，降落地比预期的仅差10千米。试验取得圆满成功。

1960年12月，“东方号”飞船又进行了两次不载人发射，均告失败。前一次在回收时，再入角太大，极高的气动加热导致飞船烧毁，两只小狗丧命；后一次试验则是运载火箭第三级没有工作，飞船未能入轨。为了保证宇航员的安全，不得不对飞船重新进行设计审查。



经过几个月紧张检查和修改，1961年3月，3艘“东方号”飞船运抵丘拉坦发射场，计划前两艘用于补充试验，第三艘正式用于载人飞行。1961年3月9日和3月25日，两艘飞船先后搭载一只小狗进行了飞行试验。在整个试验过程中，遥测结果表明飞船和试验动物一切正常。最后飞船均安全再入并成功回收。

1961年4月3日，前苏联政府正式批准进行载人轨道飞行。第一次飞行任务由尤里·加加林担任，如果临时状况不佳则由季托夫接替。1961年4月12日莫斯科时间9时07分，一枚运载火箭将加加林乘坐的“东方1号”飞船发射升空。经过9分半钟的飞行，“东方1号”飞船进入地球轨道。在历时1小时33分钟，绕地球飞行一周后，加加林安全降落在萨拉托夫地区恩格尔城西南26千米处。

由于这次是第一次载人太空飞行，加加林在整个飞行过程中不需要进行任何操纵动作。另外，着陆过程比较复杂，最后加加林的落地点与预计点相差甚远。但这次飞行的意义却是极其伟大的：它实现了人类登天飞行的理想，把世纪初航天先驱者的理论变成了现实。

知识链接

加加林绕地球飞行一圈有着无可辩驳的科学意义，它证明人类在短时间失重状态下完全可以正常生活。加加林后来回忆说：“当失重出现时，我的感觉好极了。任何事情都很容易去做。真是不可思议，腿和胳膊感觉不到重量，物体在座舱内飘浮，我也离开了座椅，悬在了半空。”他还描述了从舷窗看到的宇宙空间与地球的景象。

继加加林之后，“东方号”飞船又进行了5次载人轨道飞行。1961年8月6日，宇航员季托夫乘坐“东方2号”飞船进入地球轨道。原订这次飞行只绕地球3圈，但出于某种政治上考虑，飞行时间延长到25小时。结果，季托夫患上了太空病，他在整个飞行过程中一直感觉不佳，许多计划进行的实验无法完成。



1962年8月11日，宇航员尼古拉耶夫乘“东方3号”飞船进入地球轨道。这次飞行持续了近4天。在他进入轨道第二天，宇航员波波维奇乘坐“东方4号”飞船也进入了地球轨道。他们的轨道非常相似，两者相距仅6.5千米。两艘飞船进行了编队飞行，为未来的交会对接积累了经验。他们还进行了生物医学实验，并真正在舱内飘浮移动。8月15日，两艘飞船先后安全返回地面。1963年6月14日，宇航员比耶科夫斯基驾驶“东方5号”飞船升空。6月16日，世界第一位女宇航员捷列什科娃乘坐“东方6号”飞船升空。这两艘飞船除各自进行生物医学实验和对地观察任务外，也进行了编队飞行，最近距离只有5千米。6月19日，“东方5号”和“东方6号”飞船安全返回。宇航员比耶科夫斯基创造了留空时间119小时的记录。

前苏联还计划在1963年夏进行“东方7号”的飞行，后由于计划调整，这次飞行被取消了。作为人类历史上第一个成功的载人轨道飞行计划，“东方号”计划取得了许多重大的历史性成就。由于飞船的限制，东方号飞船的飞行没有取得很多的科学研究成果，但在医学实验上特别是人在太空飞行的反应和适应性方面获得了第一批一手资料，为新一轮载人太空飞行积累了经验。“东方号”计划因首飞太空而载入航天史册。

18 通信卫星的诞生与发展

自前苏联和美国发射成功人造地球卫星后，探索卫星应用的工作就已开始，短短几年后，包括气象卫星、通信卫星、侦察卫星等应用卫星先后出现。人造卫星为经济、军事、社会发展发挥了重要作用。在各类应用卫星中，通信卫星产生的经济与社会效益最大。

卫星通信思想的产生



自从人类发明了电话和电报，远距离快速通信才成为可能。最初，人们只能通过有线的方式实现电话和电报传输，这就是有线通信。有线通信需要架设远距离通信线路，耗资惊人。电磁学的发展，诞生了另一种通信方式——无线电通信。利用无线电通信，可以不需要线路，但无线电通信也有其问题。我们知道，无线电波是直线传播的，由于地球表面是圆弧状，距离较远就收不到信号了。解决这个问题的办法是建设一个个信号中转站，每个中转站的距离是30千米～50千米。这样做耗资很大不说，对于越洋通信，不可能在大洋中建设这样的中转站。为了实现跨大洋通信，人们寄希望于海底电缆。

早在1858年，第一条横贯大西洋的海底电缆就建成了。由于操作员操作失误，给电缆加了2000伏电流，使辛辛苦苦铺设的电缆毁于一旦。后来，又曾建成了几条越洋电缆，但由于没有合适的水下放大器，话音信号

经过如此之远的距离衰减得十分厉害，以至于这条电缆实际上不能完成远距离电话通信任务。水下放大器研制成功后，1950年建成了从美国佛罗里达州到古巴哈瓦那的实验海底电缆。接着在1956年又建成了一条横跨大西洋的海底电缆TAT1。这条电缆耗资达2500万美元，但通话能力实在太低了，只能同时进行36对双向电话通话。于是后来又陆续建成了从TAT2到TAT5大西洋海底电缆。1970年建成的TAT5虽能同时进行720对电话通话，但仍然跟不上急剧增长的越洋通话的需要。

看来，无论是地面台站接力式的无线通信方式还是海底电缆的有线通信方式，都无法满足日益增长的对信息传播的需求。那么进行远距离通信还有什么方法呢？

电离层的存在和电离层反射电磁波的特性，使之成为远距离无线电通信的一种新途径。第二次世界大战前，利用电离层反射实现全球无线电广播初步实验成功。这种方式虽然至今仍在采用，但它存在许多缺点：受太阳的影响极大，干扰严重，衰减厉害，且保密性差，对此人们都深有体会。例如，收听这种广播在白天和夜晚效果不同，但都有噪音大的问题。因此，这也不是理想的远距离通信方式。

1945年5月25日，在经过了大量研究和计算后，英国工程师克拉克向英国星际航行协会提交了一份备忘录，其主要内容第一次发表在英国《无线电世界》杂志上。克拉克指出，航天技术的一个主要应用将是远距离洲际通信。因此，通信卫星将获得较大发展。为了保证通信的便利和高效益，通信卫星应发射到地球轨道上。这个轨道位于赤道上空35880千米并与赤道共面。在这个轨道位置上，卫星的线速度是每秒3.07千米，角速度是15度/小时，与地球自转完全同步。由此从地球上看，同步卫星似乎在天上某一点上固定不动。克拉克还指出，只要有三颗同步卫星呈120度夹角布置，就可以满足全球通信的需要。60年代初，克拉克提出研制发射同步通信卫星的设想终于变成现实。为了纪念这位开创者，地球静止轨道被命名为克拉克轨道。

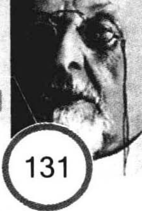
通信卫星的诞生与发展


美国资源卫星

前苏联和美国发射的第一颗人造卫星，都可以向地面发回无线电信号，因此都可以说是一种通信卫星。美国1958年12月18日发射的“斯科尔号”卫星携带有艾森豪威尔总统圣诞祝词的录音带，在圣诞节期间向地球播放。它也可看做是一种通信卫星。1960年8月12日，美国发射了“回声1号”气球卫星，它是一种用聚酯薄膜做成的大型反射气球，表面喷涂极薄的一层铝膜，能反射98%的微波信号。它于1960年8月18日首次进行了图像转播实验，取得了成功。8月22日，美国又利用它首次进行了跨大西洋的通信实验，也取得了很大成功。1962年4月24日，“回声1号”卫星首次成功地进行了电视传输实验，成为世界头条新闻。

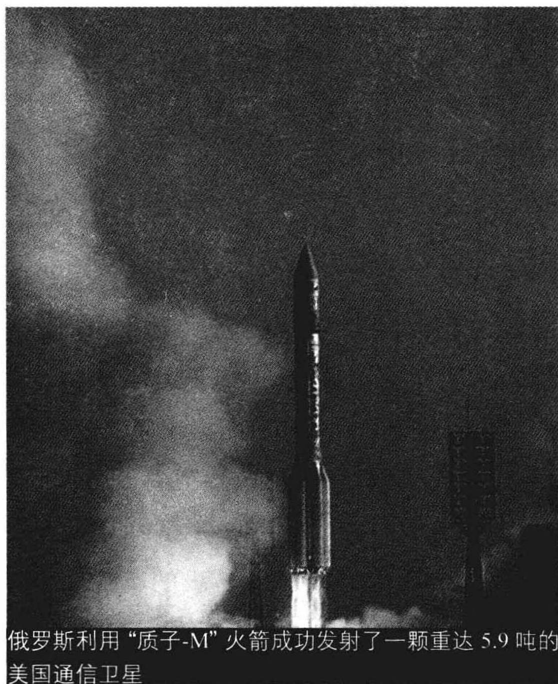
知识链接

第一颗真正的通信卫星是美国于1962年7月10日发射的“电星1号”。它是一颗实验卫星，轨道高度为952×5632千米。卫星重77千克，星上装有简单的无线电通信中继装置和太阳能电池。两个星期后，欧美第一次实现了横跨太平洋卫星直接通信。尔后的一年多时间里，美国先后发射了两颗低轨道通信卫星“电星2号”。它们都是为了解卫星通信性能的实验卫星，目的是为设计更加实用的通信卫星服务。



前苏联早期的通信卫星由于火箭运载能力低，本土远离赤道，因此采用4颗夹角为90度的闪电通信卫星，以大椭圆轨道交替实现24小时的电视节目、电话和电报传递。这种大椭圆轨道通信卫星往往需要多颗卫星才能实现24小时通信，而且给地面台站的跟踪、转换、接收等带来很大困难。因此，要使通信技术革命化，必须采用地球静止轨道通信卫星。

大运载能力运载火箭如美国的德尔塔和前苏联的"闪电号"、"联盟号"运载火箭的研制成功，使发射静止通信卫星成为可能。1963年2月14日，美国用德尔塔火箭首次发射了"辛康1号"同步通信卫星。但由于星上无线电装置失灵，这颗卫星未能进行通信服务。7月26日，美国又发射了"辛康2号"通信卫星，进入大西洋上空的同步轨道。由于它的轨道倾角是28度，所以它相对地面并非静止，而是一条8字形路线。1964年8月19日，美国又把"辛康3号"同步卫星直接送入国际日期变更线(东经180度)附近的赤道上空，成为第一颗真正的同步通信卫星，利用这颗卫星成功地转播了1964年在东京举办的奥运会的实况。

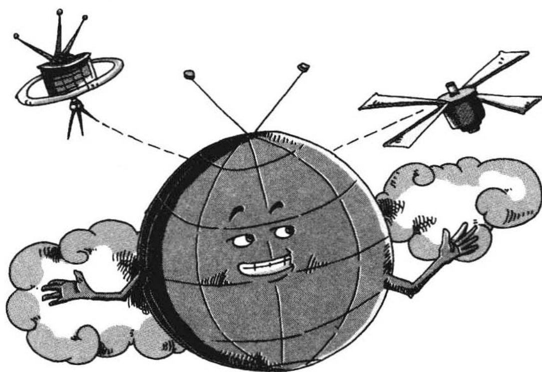

俄罗斯利用"质子-M"火箭成功发射了一颗重达5.9吨的美国通信卫星

尽管美国的几颗早期同步通信卫星不很完善，但在通信实验中已显示出巨大的应用价值。1964年，在一些西方国家的倡议下，成立了国际通信卫星组织，初期美国占53%的股份。1965年6月28日，国际通信卫星组织发射了第一颗国际通信卫星1号"晨鸟"。这颗卫星呈圆筒状，直径0.72米，长0.59米，重39千克。当年这颗卫星进行240路的电话商业服务。此后近

40年，国际通信卫星组织先后发射了国际通信卫星2、3、4、5、6、7、8、9号系列通信卫星，每一个新型号的性能都大幅度提高。例如1980年发射的国际通信卫星5号重1000千克，该卫星有2路电视频道，12000多条话路。美国福特宇航公司研制的国际通信卫星7号共有36个转发器，总重1425千克，可提供4路彩色电视和23000路电话，寿命高达14年～19年。

通信卫星的巨大效益

卫星技术的发展使现代通信发生了革命性变化。移动通信在全世界普及，就是其标志之一。美国经过20年建成的导航星全球定位系统虽然出于军事导航目的，但在过去十几年中已成功地用于全球个人移动通信中。鉴于国际信息业的发展趋势，一些国家和大公司出于商业目的，在80年代末90年代初又提出了几项大规模移动通信卫星系统计划。例如，美国摩托罗拉公司提出了铱卫星星座即“铱”系统计划，拟在7个轨道平面660千米高的轨道上布置66颗小型通信卫星，实现全球移动通信。该系统预计耗资33.7亿美元。当然，由于地面蜂窝式移动通信技术的迅速发展，“铱”虽已建成，但由于运行成本无法同地面移动通信竞争最终下马。除“铱”系统外，俄罗斯提出了“信使”卫星系统计划，准备发射36颗卫星，实现全球移动通信；欧空局提出了“阿基米德”移动通信卫星系统计划。

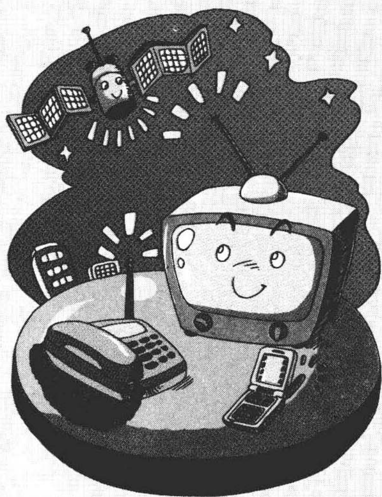


利用卫星进行电视直播使用户能够直接收看卫星转发的电视节目。但以往一个卫星转发器只能转发一套电视节目，一个带有32个转发器的电视直播卫星最多也只能转发32套电视节目。进入90年代，美国成功

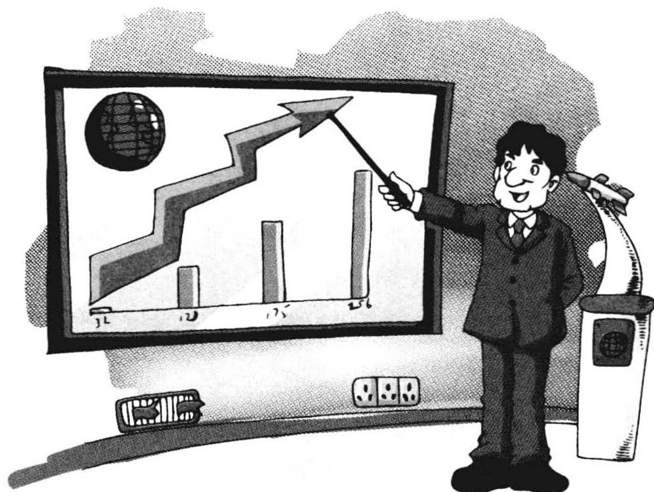
地发展出数字视频压缩技术。利用这一技术，电视图像可以经数字化处理、压缩，这样原来一个转发器只能转发一套电视节目，经压缩后可以转发4套电视节目或8套电影节目，一颗带有32个转发器的卫星现在可以转发128套电视节目或256套电影节目。这一技术使人们通过直播卫星看到上百套电视电影节目成为可能。1993年12月18日，美国发射了第一颗商用电视直播卫星，1994年又发射了第二颗。这两颗直播卫星可为用户提供175套电视节目，使卫星电视直播进入了一个新时期。

人们将当今的时代称作信息时代，信息时代需要先进的信息传播手段。通信卫星可以说是一种革命化的信息传播工具，它使人类社会、经济、文化和人们的生活方式发生了革命性变化。通信卫星能够产生巨大的经济效益。应用通信卫星可产生直接效益、二次效益和三次效益。目前一颗中等容量的通信卫星有24个～30个转发器，每个转发器年租金200万美元，这样一颗卫星的总年租金将达0.48亿～0.60亿美元。如果按话路租用计算，一颗卫星按12000路计算，每路年租金800美元，则一年的总租金达960万美元。据估计，通信卫星产生的年直接效益达6亿美元。

一项研究表明，通信部门使用国际通信卫星使通信工业的年收益达80亿美元，这项二次收益比直接收益放大了15倍。考虑终端用户的三次收益，则又会放大很多倍。据估计，终端用户使用国际通信卫星而获得的收益达400亿美元，这个值比直接收益放大了80倍。如果把全球的通信卫星业务全部计算在内，估计通信卫星每年所获得的经济效益可达3910亿美元(1989年)。这些收益分解在主要终端用户上，大致情况是：银行业务400亿、商品贸易100亿、电视广播250亿、新闻出版180亿、交通运输450亿、



保险业务280亿、制造业260亿、零售推销300亿、政府部门200亿、计算机240亿。



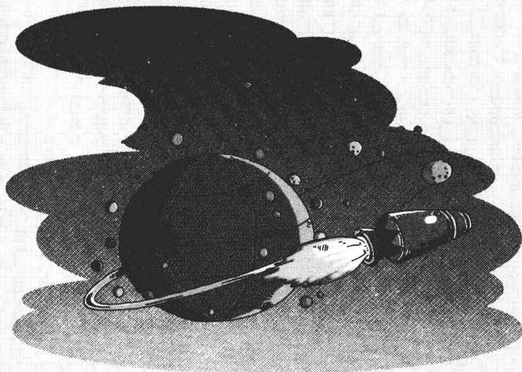
卫星通信的发展能够促进社会整体通信产业的发展。利用通信卫星建立通信系统，具有建设周期短、投资少、不受或较少受地理条件的限制，其优越性是其他任何通信手段无法相比的。在电视广播方面，利用地面微波系统年维护费用为1.1亿元，且只能覆盖80%地区，利用卫星系统年维护费只有0.7亿元，却能覆盖100%的国土面积。从总投资看，地面微波系统至少是卫星的两倍。

通信卫星还会产生无法估量的社会效益。以卫星电视教育来说，无论对于发展中国家还是发达国家都十分重要。它可以解决边远地区师资缺乏、教育设施差的问题，对普及教育和培养师资都起很大的作用。通过卫星开展电视教育，可以对广大农村和边远地区进行文化和科技知识教育，对于农业经济的发展起到巨大作用。通信卫星在电视教育、医疗卫生、文化娱乐、灾害预报、发展援助等方面产生的效益十分巨大，对社会进步起重大作用，而且影响深远，大大高于经济效益。

19 前苏联宇航员首次完成太空行走

载人航天活动经常需要宇航员出舱完成一系列复杂的任务，包括设备组装、仪器修理、实验操作等。人在开放的外层空间充满了危险，但随着航天活动的深化，太空行走是必须掌握的一项技能。在竞争意识促进下，前苏联率先实现了宇航员太空行走。

"上升号"载人航天计划

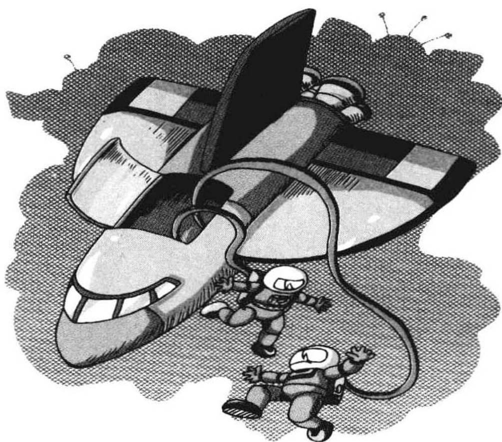


20 世纪 50 年代末，前苏联在探讨未来载人航天计划时，研究了许多方案和目标，包括环月飞行、多人飞船、载人火星探测、载人空间站等等。考虑到运载火箭的问题，曾经提出轨道交会与对接可能是未来必须掌握的关键技术。1962 年 1 月 26 日，这些方案汇集成为一个重达 15 吨～25 吨的四级大型航天器，它可以用于载人科学任务，可以进行环月飞行。考虑到当时运载火箭的运载能力，这个大型航天器必须分段发射，然后在轨道上组装。

60 年代初，美国制定了阿波罗计划，促使前苏联也开始把登月飞行作为主要目标。为此设计的登月飞船被称为联盟复合体，它由三个部分对接而成：联盟-A是一艘载人飞船，本身又由轨道舱、下降舱和仪器舱组成；联盟-Б是不载人的火箭舱，带有对接口，目的是作为主动力装置；联盟-B则是与火箭舱对接的推进剂贮箱，相当于一个轨道加油机。

这一计划后来被放弃了，主要是由于前苏联的登月方案发生了根本变化：取消轨道加油方案，代之以研制大运载能力、相当于美国土星V运载火

箭的巨型运载火箭。前苏联后来在联盟-A飞船基础上发展出了应用甚广、名声卓著的联盟号宇宙飞船。



美国阿波罗计划的前奏是双子星座计划。为了同美国全面竞争，前苏联也提出搞一个过渡性的计划，研制载两名宇航员的上升号飞船计划。上升号飞船计划只进行 3 次飞行：第一次，载两名宇航员进行持续一天的轨道飞行，争取抢在美国人前面；第二次，载两名宇航员进行轨道飞行，并首次完成太空行走，也争取抢在美国人前面；第三次，载两名宇航员进行创记录飞行，在轨飞行时间达到两星期。3 次任务在 1964 年底到 1965 年底之间完成。

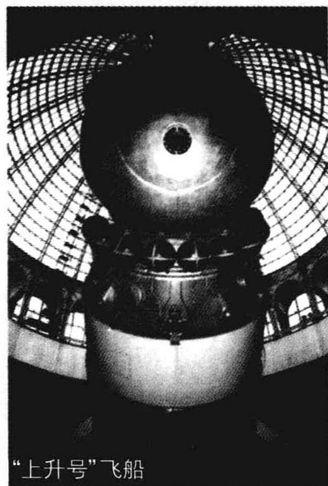
来自双子星座计划的消息表明，美国将在 1964 年进行载两人的飞行，飞行时间长达 14 天，并完成飞船交会和对接任务，还包括舱外活动。为了抢在美国之前进行“上升号”飞船的飞行，新研制一艘飞船根本来不及。于是前苏联高层决定以“东方号”飞船为基础，将其改成能够载两人的飞船。在工作进行得差不多时，赫鲁晓夫又提出“上升号”飞船应能载三人，只有这样才能更加引人瞩目。前苏联高层正式提出要在如此短的时间里完成这项任务，总设计师科罗廖夫感觉困难极大。但他仍然希望在各个领域击败美国。

1964 年 3 月 13 日，军事工业委员会召开会议，同意将“东方号”改成载三人飞船的设想，而且提出要飞行四次，并且将飞船命名为“上升”（俄文原意是“日出”）。科罗廖夫还提出完成另一个任务：宇航员舱外活动。这样就要对飞船进行出舱活动的改进，安装增压过渡舱。4 月 13 日，这些

方案得到批准。为此，要研制两种改进型飞船，分别载3人和实现舱外活动。每一种飞船都要进行一次不载人飞行试验，成功后再进行载人试验。

"上升号"飞船改进研制

将"东方号"改进成"上升号"遇到的第一大问题是如何在飞船内安排3名宇航员。舱内的空间太小，安置一个身穿宇航服的座椅已经十分狭窄。工程师费奥科蒂斯托夫提出，取消弹射座椅和宇航服，这样可以省去很大的空间和重量，但面临着极大的危险。对此，医生和工程师进行了广泛的争论。医生为了保障宇航员安全，不同意取消宇航服，工程师则从技术上可能实现的情况下，建议取消宇航服。最后，在考虑完成任务可能性的前提下，取消宇航服是唯一可行的办法，尽管面临着危险。


"上升号"飞船

取消弹射座椅更是一个危险的举动，因为"东方号"的下降速度很快，没有充分的减速装置，所以在下降过程中依靠弹射座椅弹出舱外，由小型降落伞回收。解决的办法一是改进降落伞性能，提高降落伞尺寸，二是增加固体火箭制动系统。为此1964年9月5日利用季托夫驾驶过的"东方2号"飞船返回舱进行了试验。这类试验后来又进行了多次。

"上升号"飞船的形状和"东方号"没有很大差别，只是在下降舱的侧面加装了可伸缩的气密舱，用作宇航员进入太空的通道。另外由于上升号飞船的飞行轨道有所提高，处于200千米～300千米之间，如果反推火箭出现故障，极稀薄的大气不足以产生足够的阻力使飞船在半个月内降低轨道，因此在返回舱的顶部安装了备份的固体反推火箭。以外，在回收时利用减速伞降低飞船速度，并在接近地面时利用主伞下端两个小固体火箭反推，进一步减小着陆速度。

“上升号”载人飞船是以“东方号”为基础改造而成的，其形状和尺寸与“东方号”大体相似，长约5米，直径2.4米，重约5.5吨，舱内自由空间1.6立方米。飞船内安装了新的电视摄像系统，画面质量有所提高。取消了电影摄影机，采用了新的无线电通信系统。

为了能容纳3名宇航员，去掉了弹射座椅，换上了3个带有减震器的座椅，去掉弹射座椅后，着陆方式改为座舱整体着陆，主伞由两具面积为574平方米的伞组成。座舱增加了着陆缓冲器，当飞船距地面1米时，由触杆式触地开关控制缓冲火箭点火，实现软着陆。

由于飞船重量增加，运载火箭也进行了改进，主要是上级发动机改成RD-0108，推力为30.4吨，工作时间240秒，火箭总长度45米，起飞重量307.26吨。

费奥克蒂斯托夫是第一特别设计局的主要设计师之一，正是他提出取消弹射座椅改为3个普通座椅的，但他也认为这样做存在不安全隐患。科罗廖夫曾说，如果我们设计出能够载3人的飞船，那么其中一个座位应留给我们设计局的人。于是，费奥克蒂斯托夫自告奋勇成为上升号飞船首次飞行的宇航员之一。

“上升号”飞船的载人飞行



1964年10月12日，“上升1号”发射升空，进入177×377千米的轨道。宇航员是科马罗夫、费奥克蒂斯托夫和耶格罗夫。飞船飞行的情况良好，在第三圈时宇航员与赫鲁晓夫通了话。第四圈他们开始吃饭，并轮流休息。在第六圈科马罗夫操作电离子推进器，前苏联声称这是有史以来的第一次。

“上升1号”飞船在轨道上停留

了一天，科马罗夫曾提出申请再飞行24小时，未获批准。“上升1号”飞行的时间是24小时17分，绕地球16圈，行程67万千米。前苏联很长时间不愿公开同时载3人升空的真相。当西方记者问及“上升号”飞船为什么不装逃逸救生系统，宇航员不穿宇航服时，得到的回答是前苏联的飞船可靠，连宇航服都不需要了。


进行人类首次太空行走的列昂诺夫

“上升2号”计划进行首次太空行走，因此设计了一个特别的附加舱，它安装在飞船一侧，采用半钢性结构。发射时，收拢位于飞船一侧，进入轨道后张开，里面有两道门。舱外活动完毕，则可抛弃。舱外活动宇航服与以前的相比，主要是在外面加了一层防热层。为防止在舱外膨胀，宇航服上装有减压装置。

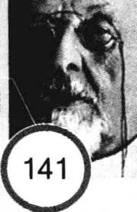
执行太空行走的宇航员选择了列昂诺夫。1965年3月18日10时，“上升2号”发射，参加此次飞行的宇航员是贝里亚耶夫和列昂诺夫。飞船进入167×465千米的轨道。在飞行第二圈时，列昂诺夫准备进行太空行走。开始前，他呼吸了1小时纯氧，防备出现太空病，将宇航服的压力减少到密封舱的一半。飞船舱内，贝里亚耶夫帮助列昂诺夫穿好特殊的、备有自动生命保障系统的宇航服，检查了设备、系统和记录及通信装备的工作情况。调好飞船舱内及气闸舱内的压力之后，打开从飞船通往闸门舱的舱口盖。随着贝里亚耶夫的一声“祝你好运”，列昂诺夫浮游进入密封过渡舱。列昂诺夫通过舱口盖进入闸门舱之后，贝里亚耶夫再关闭飞船舱的舱口盖。列昂诺夫进入过渡舱后，便给自己的宇航服充压，并检查过渡舱的密封性，调整头盔。然后气闸舱降压，列昂诺夫打开出舱盖。

使人目眩的阳光充满了气闸舱。列昂诺夫把头伸出舱口，无边无际、深奥莫测的太空展现在他的眼前，日月星辰在他面前浮游而过。此时此刻时间是1965年3月18日11时34分51秒。事后他说：“当我准备好出舱时，

轻轻地推了一下舱盖，于是人就像一个软木塞一样呼的一下冲出了舱口。”列昂诺夫进入茫茫太空，成为世界上第一个在太空漫步的人。他说：“我看到了完整的宇宙，看到了天空中明亮的星星。在地球上，我看到了白云，分辨出了伏尔加河和乌拉尔山。”



出舱后列昂诺夫用一根长5.35米的绳索与飞船相连。他在太空不仅浮游，还翻筋斗，并从舱外卸掉一个相机，移动了几件舱外物体。10分钟后，贝里亚耶夫提醒列昂诺夫准备返回座舱，可此时却出了麻烦。列昂诺夫报告说取回舱外相机有困难，相机放进过渡舱时，一松手它就飘走，如此反复数次都未成功。最后，列昂诺夫硬把相机推进通道，并用脚踩住，这才将相机放下。可这时列昂诺夫已精疲力竭，出汗量超出了他的宇航服所能吸收的量。在他本人进入过渡舱时，又遇到了新问题。为了踩住相机，他的脚先进到过渡舱里，可身子怎么也进不去了，他被卡在了舱门口。这是因为太空是真空的，无法从外部对航天服施压，此时的宇航服比想像的要鼓得多，就如气球一样。这时，列昂诺夫除了听到自己的心在咚咚地急促跳动外，什么也看不清，听不见。突然他灵机一动，给宇航服放气降压。一次不行两次，两次不行三次，直到将宇航服压力降到了极危险的低限，即从40千帕降到25千帕。他终于穿着瘪下来的宇航服进了舱门。



“上升2号”飞行成功后，列昂诺夫被授予苏联英雄称号及列宁勋章。1967年，他被分派登月宇航员培训，准备参加月球之旅。一年后，他从朱可夫斯基空军军事学院毕业。登月计划放弃后，列昂诺夫被派去执行空间站的飞行训练计划。

1975年7月15日，前苏联发射联盟19号飞船，列昂诺夫是飞船指令长。此次飞行进行了苏美在太空的首次飞船对接和联合飞行。返回后，列昂诺夫第二次被授予苏联英雄称号并获得列宁勋章。同年，他从上校晋升为少将。1980年，他出任尤里·加加林宇航员训练中心代理主任，他为宇航员飞行训练进行测试并提出建议。1984年，他撰写的《人与宇宙》一书出版。

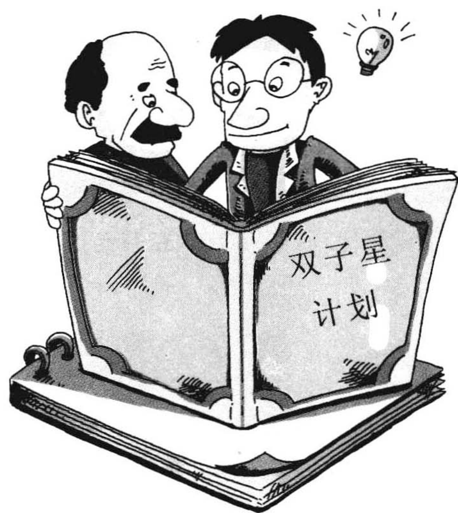
知识链接

太空行走(Walking in space)又称为出舱活动。狭义的太空行走即指航天员离开载人航天器乘员舱，只身进入太空的出舱活动。广义而言，宇航员在月球和行星等其他天体上完成各种任务的过程也可以称为太空行走。二者的区别在于，狭义的太空行走中，还要考虑到太空的微重力环境对宇航员人身安全可能造成的影响。太空行走是载人航天的一项关键技术，是载人航天工程在轨道上安装大型设备、进行科学实验、施放卫星、检查和维修航天器的重要手段。要实现太空行走这一目标，需要诸多的特殊技术保障。

20 双子星座飞船完成轨道对接

载人太空飞行拉开序幕后，前苏联和美国都认识到，未来载人航天活动的核心是空间站，而空间站长期运行必须定期访问补给，另换宇航员，因此飞船与空间站交会、对接是必须解决的关键技术问题。美国为执行登月计划，也面临飞船与登月舱对接的问题。因此，美国的双子星座计划的主要任务之一是完成两个航天器的在轨对接。1966 年，这一目标终于实现。

双子星座计划的执行

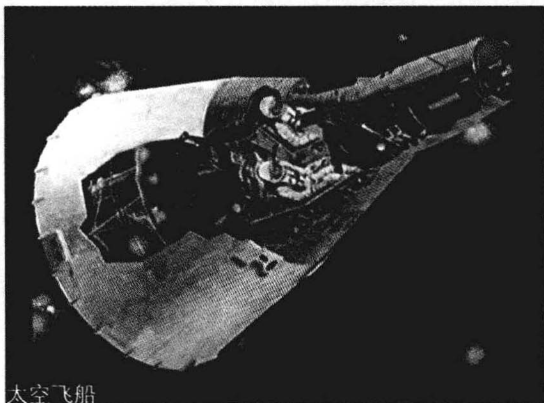


双子星座计划是阿波罗计划的一个辅助计划，但有很大的独立性，最初是作为水星载人航天计划的后续计划出现的。

肯尼迪总统于 1961 年 5 月 25 日正式提出执行阿波罗计划后，作为中间过渡性计划的双子星座飞船的意义和任务便更加明确了。6 月初，飞船方案又做了修改，除了增加设备舱外，还取消了水星飞船的发射救生塔。另外，从完成轨道交会和对接任务考虑，飞船增加了一套轨道机动、变轨及交会发射系统。

1961 年 10 月 27 日，双子星座飞船的飞行任务大致确定，共包括 12 次轨道飞行。第一次不载人飞行初步定在 1963 年 5 月，绕轨道飞行 18 周；接着在 1963 年进行两次载人飞行，历时 7 天；以后逐步练习飞船在轨道上机动、交会直到对接，最后还要将飞行时间提高到 14 天。

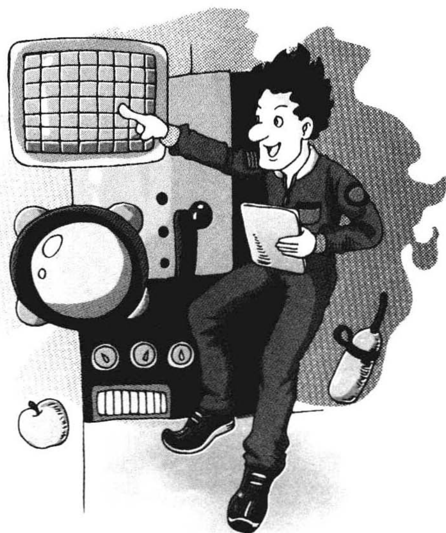
双子星座飞船由 3 段连接而成。最下面是圆台形的设备舱，里面装有电源系统、推进剂贮箱、轨道和姿态控制系统、通信系统、仪表设备以及生活用品。中间段是发动机舱，主要用于飞船变轨与再入控制。它除装有反推发动机及推进剂贮箱外，还装有机动发动机。最上段是载人飞船。这部分很像放大的水星飞船，内部装有两套宇航员弹射座椅、导航系统、电子设备以及生命保障系统，座舱内也采用纯氧环境。它的前端是一个降落舱，头部装有交会雷达、对接器以及再入高度控制系统。飞船总长度为 5.6 米，底部最大直径 3.05 米，其中乘员舱长 3.35 米，底部直径 2.35 米。由于飞行任务的不同，双子星座飞船的总重量在 3.2 吨～3.8 吨之间。它的再入过程是：飞船在返回前先在轨道上抛掉设备舱，然后发动机舱的 4 台反推制动火箭点燃，将飞船推向再入轨道，最后再抛掉发动机舱，座舱像水星飞船一样单独再入大气层，下降到低空时打开降落伞，宇航员和座舱一道在海上溅落。


太空飞船

为了在轨道上完成变轨、机动、交会、调姿等各种任务，双子星座飞船安装了全新的机动、交会和姿态控制系统，这个系统可完成各种机动和姿态控制动作。与水星飞船的过氧化氢喷嘴不同，双子星座飞船的机动发动机均为正常意义下的火箭发动机，采用四氧化二氮和甲基肼作为推进剂，推力范围为 11.3 千克～45.4 千克，均可多次点火工作。这样的发动机共有 32 个之多。

反推制动发动机包括 4 台推力为 1130 千克的火箭发动机，它采用固体推进剂，工作时间 5.5 秒，发动机可自动控制或手动控制工作。当发动机启动后，首先将设备舱分离。在离轨大约 40 秒后，自身也与飞船分离。

为了顺利完成飞船在轨的全部交会与对接任务，双子星座飞船发展了



一套程序控制系统，包括惯性导航系统、数字计算机系统及伺服机构。计算机采用辅助磁带存储器，共记录了0.16兆比特程序指令。这套系统完成的主要任务是：给出运载火箭发射时间指令；控制火箭飞行路径，给宇航员提供各种飞行参数并提示控制发动机操纵；提供目标飞行器运行参数，测量它与飞船间的相对参数；给宇航员提供飞船轨道机动、姿态控制、位置机动的操纵信号；给出飞船分离时间预期，提供分离后飞船的姿态及运行参数；控制飞船按正确的参数离轨和再入。

双子星座飞船的任务时间一跃提高到14天，这对整个飞船的供电系统提出了更高的要求。普通化学电池功率小、寿命短，太阳能电池效率低且大面积电池帆板体积和重量过大，星箭结合等问题当时还很难解决。因此，双子星座飞船决定采用以前从未用于航天领域，且技术发展尚不成熟的燃料电池。

双子星座飞船要完成的一项重要任务是宇航员太空行走，舱外活动。为了简化设计，它没有采用前苏联上升号飞船那种安装过渡舱的办法。双子星座飞船侧部各有一个矩形舱门，它具有极好的关闭密封性，可以在太空中打开和关闭。在执行舱外活动任务时，宇航员先使舱内氧气压力下降，采用宇航服的供氧系统呼吸。当舱门打开时，任凭舱内氧气散失。宇航员在太空中完成行走任务返回舱内并关闭舱门后再重新放出氧气，使座舱增压。这种方式在设计上比较简单，但耗氧量增大。

双子星座飞船的飞行



1962年5月，麦克唐纳公司生产出双子星座飞船比例模型，用于进行空投试验。北美航空公司为此生产了翼伞滑翔机。1962年5月24日，飞船模型首先进行了空投下降试验。这些工作持续到1963年底，检验了飞船的气动稳定性以及小距离机动和姿态控制能力，验证了双子星座飞船技术设计的合理性。

双子星座GT-1飞船的设备舱和反推发动机舱全是模拟舱段，用于轨道试验。1964年4月8日，一枚大力神II火箭将其送入轨道。在3圈轨道飞行中，遥测数据表明飞船内的情况达到预期值。4月12日，在进行了64圈轨道飞行后，飞船连同大力神第二级自动再入大气层烧毁。双子星座GT-2飞船是完整的飞船，只是用两个模拟物代替宇航员。1965年1月19日，双子星座GT-2发射升空。这是一次弹道飞行试验，最大飞行高度171.3千米，飞行距离3422千米，历时18分16秒。

1965年3月23日，双子星GT-3飞船（即双子星座3号）载宇航员格里索姆和约翰·杨发射入轨。这次飞行主要是考察飞船各系统和再入过程，飞行时间定为5小时。这次飞行除检验了飞船的基本性能外，取得的一项重要成果是：宇航员首次在轨道上实现了真正的飞船操纵、变方向和变速度控制。此外还进行了三项科学实验并拍摄了地球照片。飞船在最后阶段顺利与设备舱分离，启动反推发动机，进入大气层、降落伞回收均很正常。

双子星座4号飞船于6月3日发射。这次飞行任务由宇航员爱德华·怀特和麦克迪维特承担，飞行时间提高到5天。在绕地球轨道第三圈时，怀

特按预定计划在夏威夷上空打开舱门，进入了开放空间。他身上连着一根长索，利用小型机动系统，最远时距离飞船约 3 米左右，除身体有些旋转外，一切均正常。他在舱外共计活动了约 21 分钟。在飞行期间，他们还进行了科学和技术实验，医学测试，利用弹力器来维持肌肉的弹性，拍摄了许多舱外活动和地球大气的照片。双子星座 4 号飞船共飞行 62 圈，于 6 月 7 日返回地面。这次飞行有两项成果超过了前苏联：一是轨道飞行时间近 98 小时，打破了前苏联的记录；二是首次进行太空机动行走。



双子星 5 号飞船于 8 月 21 日发射，计划在轨运行 7 天，宇航员是库珀和康拉德，主要任务是进行轨道机动和交会练习。宇航员在太空利用专门设计的“系统交会鉴定舱”评价交会雷达和导航系统。鉴定舱装有雷达应答机、信标机和闪光灯。在轨道上，它从辅助舱抛出，作为练习会合技术的靶标。双子星座 5 号飞船首次安装了燃料电池，但遗憾的是发生了故障。飞船没能按计划与鉴定舱对接，鉴定舱失踪了。尽管如此，双子星 5 号完成了许多实验和对地观察项目，留空时间长达 8 天，绕地球 120 圈，取得了很大成功，预示了更长飞行时间的可能性。宇航局副局长德莱登在给约翰逊总统的信中兴奋地说：双子星座 5 的成功扫除了通往太空飞行两星期道路上的障碍，它“为成功实现载人登月飞行并返回的计划提供了保证”。

双子星座飞船完成对接任务



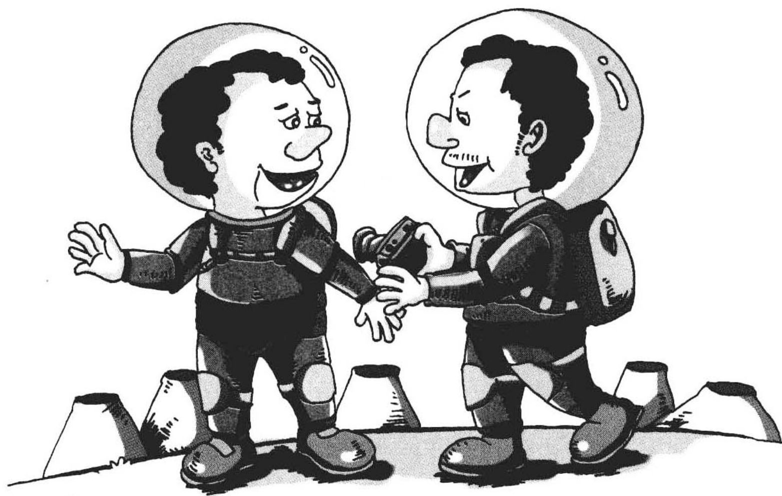
鉴于双子星座飞船成功地进行了3次载人飞行试验，美国宇航局准备在下面的飞行中完成原计划的两大任务：在轨飞行14天以上、实现飞船与航天器轨道对接。对接任务计划由双子星6号飞船完成，与之对接的目标舱是阿金纳D火箭上面级。阿金纳D在试验过程中应完成以下任务：1.向地面站实时发送数据，并储存来自地面站指令数据；2.接收并鉴定地面站和双子星座飞船上的指令信息，并把信息转变成执行动作，控制目标飞行器的运行；3.可接收地面站和飞船的信息并发射跟踪信息；4.可接收地面站和飞船指令信息。

1965年10月25日，阿金纳D作为宇宙神火箭的上面级在肯尼迪航天中心发射。但由于阿金纳D发动机点火失败而未能进入预定轨道。原定90分钟后发射双子星座6号飞船的计划取消。为了验证双子星座飞船的交会能力，宇航局决定发射双子星座6和7号飞船，为宇航员提供在太空中对接训练的机会。这两艘飞船分别于1965年12月4日和12月15日发射，它们靠宇航员操纵完成了机动、接近和交会飞行，在间距只有40米的情况下持续飞行了7小时15分钟，最近时只有0.3米。第二天，即双子星座6号飞行25小时51分钟后，宇航员完成全部飞行任务，并实现了第一次受控再入，溅落点比预定点偏差只有13千米。双子星座7号继续飞行3天，创造了在太空中持续飞行330小时35分钟，绕地球206圈的新记录。

1966年3月16日发射的双子星座8号和6月3日发射的双子星座9号，都未能实现与阿金纳对接的任务。

1966年7月18日，双子星座10号飞船载宇航员约翰·杨和科林斯进入轨道。他们在太空中先后对未能完成对接任务的阿金纳3号和新发射的阿金纳10号进行了跟踪、会合。双子星座10号用了约6小时时间完成了与阿金纳10号的会合与对接任务，此时距地面298千米。阿金纳的发动机正常工作了80秒钟，将双子星座飞船结合体送到763千米的远地点，尔后发动机二次点火，又把双子星座10号的远地点降到382千米，最后一次点火把双子星座10号飞船推入377.6千米的圆轨道。双子星座10号/阿金纳10号结合体持续飞行了4小时后，二者分离。不久，宇航员操纵飞船向37千米远的阿金纳3号机动，2小时后，两者相距只有3米。宇航员科林斯爬出舱外，依靠机动系统来到阿金纳3号上，完成了取样任务。最后，他们于7月21日安全返回地面。这次高度成功的太空对接与轨道机动是航天史上一项伟大的成就，这是完成阿波罗计划的关键技术，为载人登月开辟了道路。

1966年9月12日和11月11日，双子星座11号和12号飞船先后发射。这两艘飞船更加出色地完成了空间对接任务、舱外活动任务，进行了重力梯度实验、人造重量实验以及更长时间的生物医学实验。在双子星



座11号飞行期间，阿金纳火箭一度将飞船结合体推进到1368千米的高度。

在双子星座12次飞行期间，宇航员共进行了52项实验，其中27项是新技术试验，8项是医学实验，另外17项是科学实验，拍摄了1400张地球彩色照片。双子星座计划对人在太空中长期工作和生活进行了更全面的研究。双子星座计划取得的许多开创性成就，为阿波罗计划提供了极其宝贵的经验和科学技术成果，使登月计划得以成功的前提保证。

知识链接 双子星座飞船载人飞行一览

飞船	发射日期	宇航员	飞行时间
双子星座3号	1965.3.23	古斯·格里索姆、约翰·杨	4小时46分钟
双子星座4号	1965.6.3	詹姆斯·麦克迪维特、爱德华·怀特	4天1小时56分
双子星座5号	1965.8.21	戈登·库珀、查理斯·康拉德	7天22小时56分
双子星座6号	1965.12.15	瓦尔特·希拉、托马斯·斯塔福德	1天1小时52分
双子星座7号	1965.12.4	法兰克·博尔曼、詹姆斯·洛弗尔	13天1小时52分
双子星座8号	1966.3.16	尼尔·阿姆斯特朗、戴维·斯科特	10小时42分
双子星座9号	1966.6.3	托马斯·斯塔福德、龙金·塞尔南	3天又21分
双子星座10号	1966.7.18	约翰·杨、迈克尔·科林斯	2天22小时47分
双子星座11号	1966.9.12	查理斯·康拉德、查理·戈登	2天23小时17分
双子星座12号	1966.11.11	詹姆斯·洛弗尔、埃德温·奥尔德林	3天22小时35分

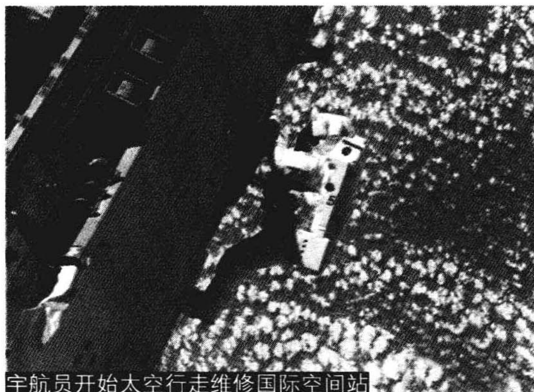
21 美国宇航员成功登上月球

在迄今为止人类全部的航天活动中，最激动人心的一幕莫过于阿波罗飞船载人登上月球了。1969年美国宇航员阿姆斯特朗和奥尔德林首次踏上月球表面，实现了人类千百年的理想，对月球进行了全新的科学探测，显示了人类征服自然力的巨大能量。载人登月的成功标志着人在自然界中地位的巨大变化。

登月火箭和飞船研制

阿波罗登月计划的制定，是受前苏联率先实现载人航天飞行这一划时代的伟大成就刺激的结果。前苏联宇航员加加林完成首次载人航天飞行之后，促进美国政府下定决心，制定登月计划，与前苏联一决高低。1961年5月25日，肯尼迪总统在美国国会发表特别国情咨文，正式批准制定阿波罗登月计划。

在阿波罗计划制定和方案选择过程中，运载火箭始终是起决定性作用的因素之一。20世纪50年代后期，美国为满足将来航天任务的需要，开始研制两种巨型运载火箭，一是新星号运载火箭，一是土星号运载火箭。由于技术和资金等方面的原因，加之航天任务的具体化，新星火箭计划在60年代初中止了。土星火箭计划从提出之日起，也经过了多次调整，在确定为阿波罗计划的运载工具后，才得到迅速发展。该系列运载火箭在各个方面远远地超过了美国所有的运载火箭。即使到90年代，它也是美国运载能


宇航员开始太空行走维修国际空间站

力最大的火箭。

土星系列运载火箭早期型号的具体任务不包括载人登月，因此它的第一级采用推力不太大的 8 台 H-1 发动机并联方式，起飞推力 7291 千牛。根据上面级采用的发动机的不同，它派生出土星 A-1、土星 A-2、土星 B-1、土星 C-1、土星 C-2 和土星 C-3 等型号。后来又出现了土星 C-4 和土星 C-5 两种型号。它们都是三级火箭，第一级分别采用 4 台和 5 台 F-1 发动机并联，第二级分别采用 4 台和 5 台 J-2 液氢液氧发动机并联，第三级采用 1 台 J-2 发动机。土星 C-4 和 C-5 可完成多种任务，前者执行载人环月飞行任务，后者则用于载人登月任务，其运载能力很大，可将 113 吨载荷送入近地轨道，可将 41 吨载荷送入月球轨道或在月球上着陆。

1962 年 7 月，宇航局最终确定了土星系列运载火箭的基本方案和各自完成的任务。1963 年初，宇航局宣布土星系列运载火箭的新命名：土星 C-1 改为土星 1，土星 C-1B 改为土星 1B，土星 C-5 改为土星 V。



土星 V 火箭的箭体高度是 85.6 米，连同阿波罗飞船在内总高 110.6 米。它的第一级和第二级直径均为 10.1 米，第三级和仪器舱直径 6.6 米。土星 V 发射重量为 2870.9 吨，推进剂总重量为 2686 吨，壳体和仪器重量仅 185 吨，推进剂重量占到了 93.5%。三级工作时间分别为：第一级 127 秒，第二级 365 秒，第三级 294 秒。它采用惯性制导，第一、二级采用可摆动喷管，第三级采用姿态控制喷管控制力矩。其近地低轨道运载能力 104.3 吨，地球逃逸轨道运载能力 43.09 吨。火箭的零件数达 300 万个，一枚火箭的成本是 1.85 亿美元，总研制费用 96 亿美元，占整个阿波罗计划耗资的 38.4%。它的使用情况是：共制造了 15 套。自 1969 年 11 月 9 日到 1973 年 5 月 14 日共

发射13次，其中2次不载人试验发射，2次月球轨道飞行，1次地球轨道试验飞行，7次阿波罗登月飞行，1次天空实验室发射，未曾失败过。

在阿波罗计划正式被批准之前，美国宇航局已经在进行阿波罗飞船的可行性研究。1961年12月，宇航局选定北美航空公司为阿波罗飞船系统的主承包商。



阿波罗飞船包括指令舱和服务舱两部分，服务舱呈圆柱形，长7.4米，指令舱呈圆锥形，长3.2米，重约6吨。指令舱分前舱、乘员舱和后舱。前舱装有对接探测装置和降落伞回收系统，后舱装有控制系统和推进剂。乘员舱采用密封结构，容积为10立方米，可乘坐3名宇航员。

指令舱锥体顶部主要用于同登月舱对接。前舱装有在地球溅落时用的各种仪器和控制设备，包括降落伞和姿态控制小发动机。乘员舱是宇航员工作、休息的地方，宇航员在整个飞行的大部分时间一直呆在这里。乘员舱四周有复杂的仪器、仪表、开关系统，边上还有仪器框和存储框，分别安装旋转仪器和食物、水、衣物、处理废物的设备。宇航员斜躺在契合人体的靠椅上。左边的靠椅是指令长的座位，他通常管理飞船的控制器；中间的是指令舱驾驶员的座位，他负责航向观测和操纵；右边是登月舱驾驶员座位，他主要负责监视飞船供电、供氧、燃料系统和通信线路。后舱有水箱、燃料箱、线路、水管以及姿态和方位控制小火箭等装置。

服务舱是阿波罗飞船的后勤部分，呈圆柱体。它的构造比较简单，中央是一条通道，周围放置各种供应品、电源及仪器设备。它的前端是3组燃料电池和银锌蓄电池组，中部装有2个液氧贮箱和两个液氢贮箱，供燃

料电池使用。后面装有主发动机推进剂贮箱，外面有散热器、姿态控制发动机、通信天线设备。


国际空间站的机械臂

登月舱是阿波罗飞船系统的重要组成部分，它是月球轨道对接的特殊产物。宇航局经过招标和评估于1962年11月7日选定格鲁曼公司为登月舱主承包公司，1963年1月14日签订研制合同。由于登月舱的特殊使命，因而设计要求是：与飞船指令舱分离和对接都比较容易，在月面软着陆可靠性高，从月面上起飞安全。

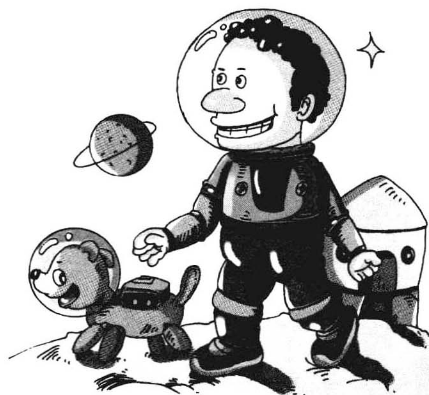
登月舱包括上升段和下降段两部分，总高度6.1米，直径约3米。下降段类似于八边形的箱子，每边长为3.6米，宽2.4米。它不载人，因此未采用复杂的密封结构。下降段底部安装了下降发动机，在发动机周围设有8个舱架，用于安放各种仪器和工具，包括后来的月球车。上升段结构比下降段复杂得多。它是一个高2.33米，直径2.12米的柱筒。它分成两部分，一部分是两个宇航员的固定位置，另一部分是深1.37米的中间室。为了减少体积和重量，乘员舱设计得非常精简，以至于连座椅和宇航员睡觉的地方都没有，宇航员只能坐在地上靠着舱壁睡觉。在乘员舱的顶部和舱壁上，只要宇航员能够接触的地方，都安装有仪表和开关设备。

阿波罗11号月球行

阿波罗计划的试验工作共分四个阶段。第一阶段从1960年10月27日到1965年7月30日。该阶段的试验是为发展土星Ⅴ火箭和检验飞船的设计。第二阶段从1964年5月13日到1966年1月20日，主要试验阿波罗飞船模拟件和救生系统。头两次试验上升到5000米高，考察逃逸救生塔的性能。这两次试验均获成功。后两次试验上升到22千米高，考察逃逸救生塔的分离特性。试验验证了发射救生系统的可靠性。1966至1967年先后进

行了6次不载人发射,对火箭、飞船、控制系统等进行全面的考察。

1968年10月11日,土星IB火箭将阿波罗7号载人飞船送入轨道,上面乘坐的三位宇航员是谢拉、埃塞尔和昆宁翰。这次试验考察了宇航员在阿波罗飞船中的适应性,指令服务舱的生命保障和任务支持系统的性能,宇航员在飞船中长时间生活和工作的表现和生物医学检查,同时还检验了指令服务舱在轨道中机动、调姿、交会能力。飞船于10月22日返回地面。



接着,1968年12月21日、1969年3月3日、1969年5月18日,3枚土星V火箭先后发射了阿波罗8、9、10号载人飞船。这些发射试验除继续验证人与飞船的适应性和飞船的性能外,还进行了环月飞行、远距离通信、登月舱分离与对接、近月环境考察等试验和探测工作,历时分别为147小时、241小时、192小时。阿波罗10号飞船基本上模拟了登月的全过程,离月面最近时只有15.24千米。最后他们抛掉下降舱,利用上升发动机返回轨道并与指令舱对接,乘指令服务舱返回地球并安全降落。

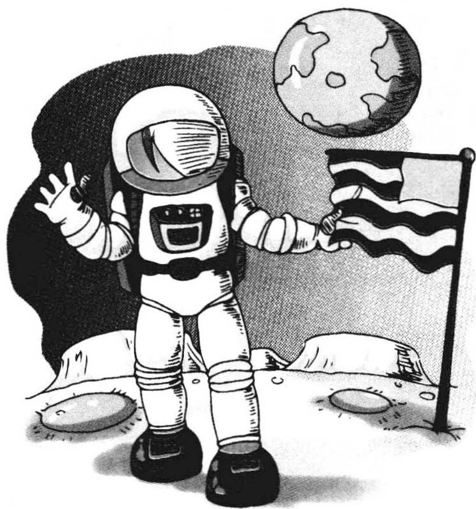
鉴于四个阶段的试验均取得圆满成功,并且综合演练了登月全过程,美国宇航局在阿波罗10号飞行试验结束后,宣布阿波罗11号将执行载人登月任务。具体任务和目标只是简单的两句话:1.完成载人登月并安全返回任务;2.完成月球考察和取样任务。这艘阿波罗飞船被命名为“哥伦比亚号”,登月舱被命名为“鹰号”。

1969年7月16日是预选的阿波罗计划登月日。这天,佛罗里达的肯尼迪航天中心天气晴朗,气温很高。这一举世瞩目的登月发射吸引了大批观众。当地时间9时32分,格林尼治标准时间下午13时32分,巨大的土星V火箭载着阿波罗11号飞船在肯尼迪航天中心39A 发射台点火发

射。参加这次登月任务的是宇航员尼尔·阿姆斯特朗、米切尔·科林斯和埃德温·奥尔德林。阿姆斯特朗是指令长，科林斯是指令舱驾驶员，奥尔德林是登月舱驾驶员。按计划，阿姆斯特朗和奥尔德林将乘登月舱登上月球进行考察。科林斯驾驶指令舱留在月球轨道上。

在点火起飞 11 分 39 秒后，土星火箭一、二级相继工作和第三级第一次工作，将飞船系统推进到地球轨道上。经过两圈的飞行，对飞船进行了系统检查后，第三级在 2 小时 44 分 16 秒时再次点火，将飞船推向奔月轨道。3 小时 17 分后，第三级与指令服务舱分离，此时距地球 17210 千米。此后，指令服务舱掉转方向，与从第三级接合部弹出的登月舱对接，最终与第三级分离。

在飞行途中，阿波罗飞船系统分别于 26 时 44 分 58 秒和 75 时 49 分 50 秒进行两次轨道校正。在起飞后 75 时 49 分，也就是 7 月 19 日下午 5 点，服务舱发动机逆向点火，使阿波罗飞船系统减速进入环月飞行轨道，轨道高度为 113.5×312.6 千米。



绕月飞行持续了 22 个小时，绕月飞行近 13 圈。这期间他们的主要任务是休息、检查和观察预定登月点，并多次启动服务舱发动机减速降低轨道。阿姆斯特朗和奥尔德林已进入登月舱。这时飞船系统的轨道降为 101×120 千米。20 日上午 7 时，宇航员开始对飞船和登月舱进行全面检查。起飞时间 100 小时 14 分，登月舱与指令服务舱分离。在绕月球飞行过程中，登月舱发动机于 102 时 33 分点火减速，使它的轨道降为远地点 105.8 千米，近地点 16.7 千米的椭圆形。在距离登月点 480 千米处，下降发动机再次点火，小型制动发动机和精确调整发动机协同工作，登月舱以抛物线

轨迹缓慢地在月球“静海”区安全降落。登月舱降落的时间是飞船时间(总起飞时间)102小时45分43秒。此时地面上是美国东部时间7月20日下午16时17分42秒。

登月舱门打开后，阿姆斯特朗第一个通过梯子踏到月面上。此时此刻的时间从他们在地球上起飞算起是109时24分15秒时，地面时间是美国东部时间1969年7月20日晚22时56分14秒。接着，奥尔德林也来到月面上。


阿波罗登月车

阿波罗11号飞船终于实现了人类几千年的梦想，完成了空前的登月壮举。正像第一个登上月球的阿姆斯特朗在踏上月球的瞬间通过无线电所宣告的：“对一个人来说，这只是一小步；但对全人类来说，这是巨大的一次飞跃。”阿姆斯特朗和奥尔德林在月球上停留了2小时31分钟，他们竖起了一面美国国旗、放置一台激光反射器、一台月震仪和一个捕获太阳风粒子的铝箔帆。他们还拍摄了月球表面、天空和地球的照片，采集了22千克月球土壤和岩石标本。

他们在月球上共停留了21小时36分21秒。22日，他们乘登月舱上升舱段起飞，与轨道上的指令舱会合。然后一同返回地球。在从地面起飞195小时18分35秒(8天3小时18分)后，在美国东部时间7月24日12时55分22秒，阿波罗11号飞船安全地在北纬13度19分，西经169度9分的太平洋檀香山西南1500千米海域溅落。人类首次登月飞行画上了圆满的句号。

1969年至1972年，美国又发射了阿波罗12号～17号飞船，除阿波罗13号登月失败外，其余均取得成功，又有10名宇航员登上了月球，考察了月球风暴洋、弗拉·莫罗高地、亚平宁山脉、雨海、金牛座山等地区。

阿波罗计划从1961年5月开始，到1972年12月结束，历时约11年半。在工程高峰时，参加的企业约2万个，大学200所，科研机构80多个，总人数超过30万。整个工程耗资巨大，高达255亿美元，峰值年份近30亿美元。

阿波罗计划获得的成功和取得的成就具有伟大的历史意义。在政治上，它终于使美国在航天技术的许多方面确立了领先地位，获得了极大的声誉。在科学上，它使人类对月球及近月空间有了首次直接的研究和认识。在技术上，取得了许多技术突破，不仅为后来的航天计划奠定了基础，而且许多新技术在国民经济各领域得到广泛应用。在工程管理上，美国宇航局取得了一系列宝贵的大型工程计划和管理的经验。在经济上，它带动了整个美国经济的发展。

知识链接 阿波罗飞船历次登月情况

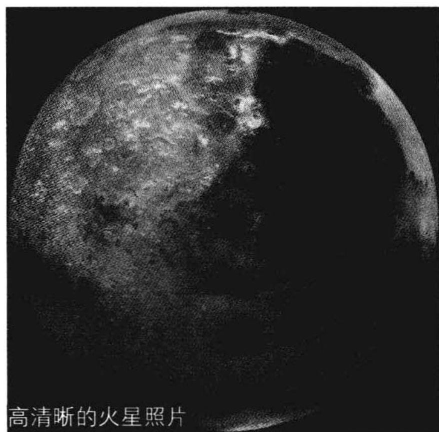
序号	飞船编号	飞船、登月舱名称	宇航员	登月时间	登月地点
1	阿波罗11号	哥伦比亚 鹰	阿姆斯特朗 奥尔德林 柯林斯	1969.7.16	静海
2	阿波罗12号	扬基·飞剪 勇猛	康拉德 戈登 比恩	1969.11.14	风暴洋
3	阿波罗13号	奥德赛 宝瓶座	洛弗尔 斯威格特 海斯	1970.4.11	弗拉·莫罗 (失败)
4	阿波罗14号	基蒂·霍克 心宿二	谢帕德 米切尔 罗萨	1971.1.31	弗拉·莫罗
5	阿波罗15号	奋进 隼	斯科特 欧文 沃登	1971.7.26	雨海
6	阿波罗16号	卡斯珀 猎户座	杨 杜克 马廷利	1972.4.16	亚平宁山
7	阿波罗17号	美国 挑战者	塞尔南 施密特 欧文斯	1972.12.7	金牛座山

22 火星探测取得的进展

火星是地球的近邻，在某些形态上与地球非常相似，因此曾有不少科幻小说描写火星人的种种故事。在太阳系内各天体中，火星是人们最感兴趣、观测研究最多的行星之一。所以航天时代到来后，科学家利用探测器对火星进行了深入研究，取得了一系列成果。

20 世纪 60 年代的火星探测

长期以来人们一直认为火星上可能存在生命。1877 年，意大利天文学家斯基帕雷利宣称发现了火星上的“人工运河”，把存在“火星人”的说法推向了高潮。直到 20 世纪，仍有人相信火星上存在生命。即使今天科学上已否定了火星存在高级生物，但也有不少专家认为火星上可能有某种低级生命存在。正因为这一点，火星成了人们最感兴趣的一颗行星。


高清晰的火星照片

1962 年 11 月 1 日，前苏联发射了火星 1 号火星探测器。它虽然达到了第二宇宙速度，但在中途校正过程中出了问题，未能同火星相会。它与火星的最近距离是 193000 千米。1964 年 11 月 5 日，美国发射水手 3 号火星探测器，结果连地球轨道都未能进入。11 月 28 日美国又发射了水手 4 号火星探测器，成功地飞过了火星，最近距离只有 1000 千米。在这样近的地方发现火星上布满环形山，那里没有运河，也没有水。它还第一次拍摄了火星表面的照片。1969 年初，美国发射了水手 6 号和 7 号火星探测器。它们发回了一些数据，传回了 200 张火星照片。前苏联在水手 7 号



发射的同一天，也发射了一个火星探测器，再次遭到失败。

1971 年 5 月，美国和前苏联共发射了 5 个大型火星探测器，其中水手 9 号取得了很大成功。它进入了一条周期大约为 14 小时的火星轨道，成为第一颗人造火星卫星。这个探测器获得了大量关于火星的资料，一共拍摄并发回了 7000 多张火星和其卫星的照片。前苏联发射的火星 2 号探测器重达 4650 千克，由轨道舱和下降舱组成。它在开始阶段比较正常，但下降舱进入火星后便无声无息了。火星 3 号探测器下降舱顺利地登上了火星表面，但电视摄像机只工作了 20 秒钟便因故障停止，且发回的资料无法辨认。

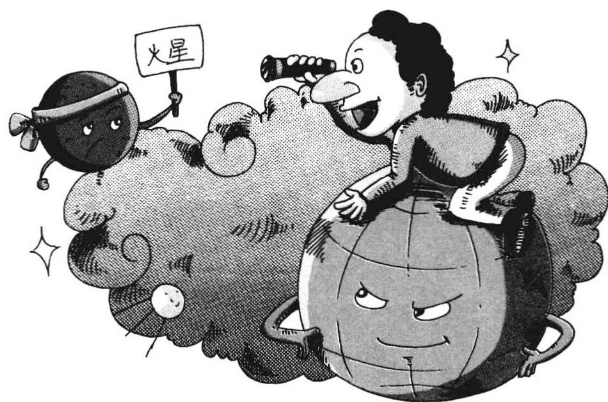
前苏联在 1973 年 7 月～8 月间，共发射了 4 个重 3950 千克的火星探测器。火星 4 号在与火星相会前失灵。火星 5 号成功地进入了火星轨道，发回了一些数据。火星 6 号进入火星大气后失踪了。火星 7 号没有进入火星大气，而是进入了一条日心轨道。美国于 1975 年 8 月～9 月发射了两个先进的海盗号火星探测器。它们重达 3400 千克，都由轨道舱和着陆舱组成。着陆舱分别于 1976 年 7 月 20 日和 9 月 3 日在火星表面软着陆成功。它们在火星表面工作了 3 个月之久，发回了不少探测数据和照片，加深了人们对火星的认识。

80 年代俄罗斯的火星探测

20 世纪 80 年代后，美国和前苏联都制定了新的行星探测计划。由于技术和其他方面的原因，这些计划执行的时间大大地拖延了。直到 80 年代末，这些计划才逐步得以实施。在这些计划中，美国的项目非常引人瞩目。另外，还有国际合作性项目。总之，这一阶段空间探测的技术水平大大高于以往的探测计划。

1988年7月7日和12日，前苏联发射了两个专门探测火星及其卫星的探测器：火卫一1号和火卫一2号探测器。火卫一探测器重量约4000千克。它由动力系统和探测器组成。探测器上装有科学仪器、太阳能电池板、高增益天线、姿态控制系统、星光敏感器和电视摄像机等。这些探测器将对火星表面进行高分辨率摄像，进行辐射强度测量，进行表面光度测量，绘制火星表面温度图，研究火星昼夜和季节变化的情况，获取火星表面的矿物成分资料，利用激光研究火卫一地层和表面构成等。

然而不幸的是，火卫一1号探测器在飞行的途中，由于地面人员错发了一个指令而损失了。据称这是一个非常偶然的事故，几乎不该发生。为了吸取火卫一1号探测器的教训，前苏联采取了一切必要的修正措施，防止火卫一2号探测器也出现类似问题。1989年1月29日，火卫一2号探测器进入了绕火星运行的轨道。在此后的两周内，对火星进行了探测。



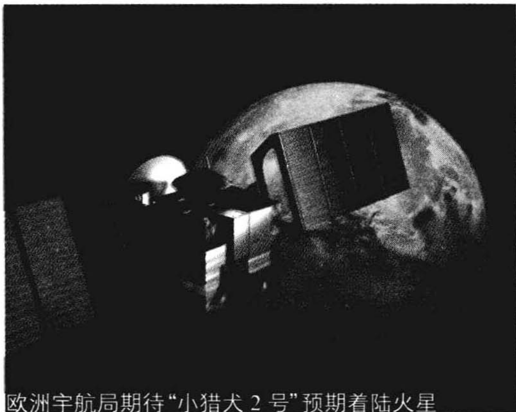
2月12日，火卫一2号探测器进入转移轨道，开始接近火卫一。一周后，它再次机动，进入观测火卫一的轨道。它在运行期间，每7天有一个距离火卫一最近的机会，只有约300千米。3月7日和21日，火卫一2号探测器又进行了两次机动。原计划它将于4月2日和7日再进行机动，以使它们的距离缩小到只有50千米左右。但3月27日，火卫一2号探测器也出现了故障，以致不能正常工作。这样，火卫一探测器计划便以失败而告终结。

为接替这两个探测器，俄罗斯又制定了火星94计划，这是一项多国合作的计划。但这项计划多次推迟，探测器也改名为火星96。它长9.1

米，直径3米，重达7500千克，装有30台各种仪器，其中法国的仪器10台。1996年11月16日，俄罗斯用质子号运载火箭发射火星96探测器，结果因运载火箭第四级第二次点火故障而遭到失败。

90年代后多国火星探测

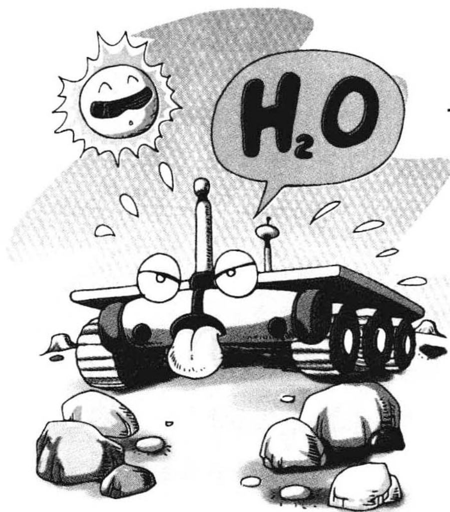
1992年9月25日，美国利用大力神3运载火箭发射了火星观测者探测器，开始了美国火星探索计划三部曲中的第一步。探测器本体周围有6块太阳能电池板，总面积24.6平方米，飞入火星轨道时才全部展开，功率约为1100瓦。火星观测者探测器重2487千克，上面带有8种仪器，包括火星观察照相机、伽马射线分光计、热辐射分光计、大气压力调制红外辐射计、激光测高计、磁场计、电子反射计等，用以确定火星地形、火星引力场、表面元素和矿物特性、大气环流特性、火星尘埃和挥发物质的时间和空间分布、绘制火星四季气候图等。它另外一组重点任务是为未来不载人或载人飞行器选择降落区。


欧洲宇航局期待"小猎犬2号"预期着陆火星

然而，火星观测者探测器在没有到达火星之前就不幸与控制中心失去联系了。由于预计火星将于1994年2月～8月发生尘暴，探测器上的相机和激光测高计将要受到影响，美国负责这项计划的技术人员计划使其提前工作，合理安排，以取得最大探测成果。正当准备通过指令对其轨道进行调整时，火星观测者却出了严重故障。1993年5月9日，探测器因故障自动偏离航向。地面人员在其后的时间里想方设法进行抢救，但终无回天之力。8月21日，火星观测者探测器最终与地面失去了联系。

1996年11月7日，美国用德尔塔2号运载火箭发射了火星全球勘察者号探测器。这颗重1060千克的探测器比火星观测者轻，但安装的仪器相

似，计划完成火星观测者的大部分任务。1996 年 12 月 4 日，美国又用德尔塔 2 号火箭发射了火星探路者探测器。它仅重 890 千克，带有一台小型火星漫游车。漫游车上带有成像仪、光谱仪和大气结构仪。1997 年 7 月 4 日，火星探路者探测器到达火星，开始进行新一轮火星探测工作。7 月 7 日，美国宇航局公布了它的一个重大发现：火星表面曾经有大规模的洪水。火星漫游车在探测器着陆点周围漫游，进行了大量科学探测，对火星环境、岩石和土壤进行了前所未有的考察和研究，获得了具有重要意义的新发现。火星探路者由于是新一轮火星探测中第一个到达火星的探测器而备受宇航界和天文学界广泛关注，也是新闻报道的热门话题，在公众中也产生了极大影响。特别是在前苏联的两个火卫探测器、火星 96 探测器和美国的火星观测者探测器先后失败的时候，火星探路者号取得的成功更显得异常突出。



20 世纪 90 年代末到 21 世纪初，火星探测计划更是一浪高过一浪。1998 年 12 月和 1999 年 1 月，美国宇航局先后发射两个火星探测器——火星气候探测者和火星极地着陆者。前者于 1999 年 9 月在进入火星大气层时被烧毁，后者于同年 12 月下落不明。1998 年 7 月，日本发射希望号火星探测器，预定于 1999 年 10 月抵达火星，但上天后厄运不断，2003 年 12 月日本航天机构宣布这次火星探测使命终告失败。2001 年 4 月 7 日，美国奥德赛火星探测器发射升空。其主要任务仍然是在火星上寻找水。2002 年，奥德赛探测器发现火星表面和近地表层中可能有丰富的冰冻水，但这一结果仍存在争议。2003 年

6月2日，欧洲宇航局火星快车探测器发射升空，它携带的猎兔犬2号登陆器预定于2003年12月25日凌晨登陆火星，但后来失去联络。


火星探测车

2003年6月10日，美国发射了携带勇气号火星车的流浪者火星探测器。2003年7月7日，机遇号火星车也成功升空，踏上了到火星找寻水和生命存在踪迹的旅途。2004年1月4日，勇气号成功在火星上软着陆;1月24日，勇气号的孪生兄弟机遇号火星车也完美地降落在火星的另一面——火星赤道附近“子午线平原”的一个20米见方的小坑洞里。两个火星车至今还在火星上进行了较全面的观测和考察，引起世人的极大兴趣。特别重要的是，它们都证明火星极区存在固态的水。

知识链接

火星的尺寸比地球小，直径约为地球的一半，质量只有地球的十分之一。火星的表面异常荒凉，是赤红色的不毛之地。大气中的尘埃使天空呈现橙红色。长期以来，人们对火星的赤红色一直迷惑不解。通过各种探测器发回的资料分析，原来火星土壤中含有大量氧化铁。长期受强烈的紫外线照射，铁生成了红色和黄色的氧化物。这种氧化物遍布于火星表面，因而火星就像是一个生了锈的世界。

火星大气非常稀薄，只有地球的五十分之一，主要成分是：二氧化碳占95%，氮占3%，还有少量氧气和水分。由于大气稀薄，火星表面昼夜温差很大，可达上百度。人们对火星白色极冠很感兴趣。研究表明，这个极冠主



要是干冰，也有一定量的水冰。据估计，如果把极区的冰全部融化，可以形成10米深的水层。火星上一大景观是尘暴异常猛烈，每年要刮一次，速度高达每秒180米，有时可以席卷整个火星表面。火星上最高的奥林匹斯山高达26千米，火星上的大峡谷更是异常壮观。美国水手9号发现的水手谷长约4000千米，宽约300千米，深约7000米。这个大峡谷在地球上用望远镜也依稀可辨，曾被误认为“人工运河”。

经过40多年的不懈努力，人类在火星的天文学特征、火星大气、火星地貌特征、火星表面的成分、火星的地球物理特征、火星内部结构等诸多方面取得了丰硕的成果。尽管到目前为止，在火星上还没发现任何生命活动痕迹与证据，但在火星表面存在大量的河网体系和类似水流侵蚀的痕迹，在南极发现的来自火星的岩石中存在可能是原始微生物化石的微细管状结构物质。这些结果使人们看到了寻找地外生命存在的曙光，更激起了人类探索太空的热情。

23　外行星探测及飞出太阳系

20 世纪 60 年代，美、苏开展深空探测活动主要限于火星以内的范围。随着大推力运载火箭的出现，探测外行星的序幕逐渐拉开。美国自 70 年代开始，陆续发射了先驱者 10 号和 11 号探测器、旅行者 1 号和 2 号探测器。其中“先驱者 10 号”探测器率先离开了太阳系。

先驱者 10 号和 11 号探测器

木星、土星、天王星和海王星在太阳系八大行星中位居老大、老二、老三和老四的地位，它们的直径分别是地球的约 11、9、4、3.8 倍。这些数字听起来似乎并不是很大，但若以体积来计算，那就大得多了，它们的体积分别是地球的 1300、730、65 和 58 倍。由于这些大行星有许多奇异的特性，卫星众多，本身就像一个小太阳系，因而令天文学家非常感兴趣。就近观测几大外行星：木星、土星、天王星、海王星以及矮行星冥王星要比观测近地行星困难得多。由于离我们实在太远了，就近观测需要高度先进的运载火箭技术和非常可靠的制导与控制技术。因此在 20 世纪 80 年代以前，只有美国发射了 4 个观测这些行星的探测器——两个先驱者号和两个旅行者号。这几个探测器都是飞近“访问”型的，无法进行登陆考察。它们都已经先后离开了太阳系，正向宇宙深处飞去。


人类首颗研究太阳系外行星的卫星 COROT

1972 年 3 月 3 日，美国用德尔塔运载火箭发射了第一个外行星使者：先驱者 10 号探测器。它探索和研究的主要目标是木星。这个探测器只有 260 千克，带有 10 多种仪器。由

于它很小，无法带更多的其他设备，如姿态控制系统、大型电源系统等，因此先驱者10号采用了各种简化设计的办法。例如，采用每分钟自旋5转的办法保持姿态稳定；采用直径达2.74米的天线解决远距离通信问题；利用核电热发电机为探测器上全部设备供电；自旋的天线轴始终指向地球以增强上下行信号强度。探测器带有磁强仪、辐射仪、温度仪、照相机、气压计等，它还有一个重大使命是考察星际空间的物理环境，以便为未来深入探测外行星开辟道路。因此，以“先驱者”命名是非常恰当的。



在飞行了大约半年后，先驱者10号探测器进入火星与木星间的小行星带，在通过这些小行星时没有受到损害。与木星的相会阶段持续了两个月。1973年12月3日，先驱者10号探测器到达距木星最近处，约13万千米，发送回来300张中等分辨率的木星和其卫星的照片。它还探测到木星的一些物理参数。发回的资料表明，它所俘获的辐射带强度是地球周围范·艾伦带强度的10000倍，而且它的巨大脉动磁场一直延伸到土星附近。在飞过了木星之后，先驱者10号探测器利用木星的巨大引力加速，向太阳系边缘的冥王星轨道飞去。它已于1986年10月通过冥王星平均轨道，因而成为第一个飞出太阳系的人造物体。

1973年4月6日发射的先驱者11号探测器的性能和大小与先驱者10号基本一致，主要探测目标是土星。它于1974年12月掠过木星，最近距离只有4.3万千米，后利用木星的引力场反冲轨道，进入了一条大弧线轨道，朝土星方向飞去。1979年9月1日，先驱者11号从距离土星约3.4万千米处飞过，发回了关于土星两个巨大的光环的资料。由于所走过的

路线不同，它很晚才离开太阳系，时间是 1990 年 2 月。

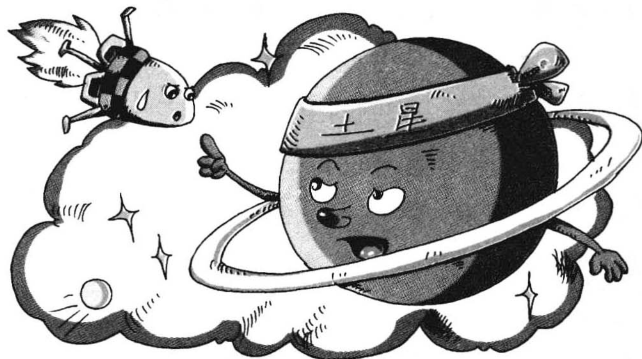
知识链接

具有深远历史意义的是，这两个最早发射的外行星探测器都带有一张表明地球方向和大致特征的“名片”。上面画着地球人的形象、太阳系相对于 14 颗脉冲星的位置、地球的方位等信息。它们经过 800 万年的飞行后，可能会同某一颗具有生命的恒星及行星系相会。

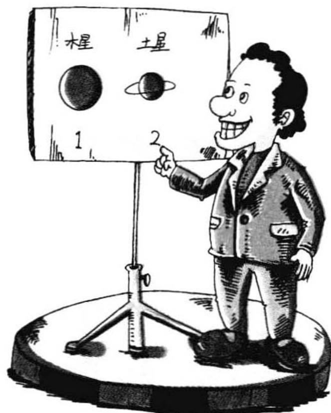
旅行者 1 号和 2 号探测器

旅行者号探测器比先驱者号探测器更加先进。它们发射重量为 2016 千克，到达木星时约为 800 千克。主要仪器是广角及窄角电视摄像机、磁强计、宇宙线和等离子体测量仪等。与先驱者不同，旅行者装有 16 台小型发动机，可以精确调整它的姿态，从而能够更加细致地观测目标行星。1977 年 8 月 20 日和 9 月 5 日，旅行者 2 号和旅行者 1 号探测器先后乘大力神-3E 运载火箭离开地球，驶向遥远的外行星。它们的主要任务是详细考察木星和土星，以及它们的主要卫星。

旅行者 1 号于 1979 年 3 月 5 日从距离木星 27.8 万千米处飞过，尔后又于 1980 年 11 月逼近土星。旅行者 2 号于 1979 年 7 月 9 日在距离木星 64.3 万千米处掠过，并花了 1 年多时间于 1981 年 8 月 20 日靠近土星。由于这



两个探测器性能优良，它们拍下了高分辨率的木星、木星卫星、木星大气和旋涡照片，拍摄了土星、土星环及其卫星照片。通过对木星大红斑拍摄的照片使人类对它的本质有了新的认识：木星大气有一个巨大的旋涡，红色、橘色、黄色、褐色、蓝色条纹时隐时现，交替变换。这个大红斑看起来像是静止的，实际上是逆时针旋转的云团。大红斑之谜初步解开。



旅行者1号和旅行者2号探测器获得了许多新的发现：木星有厚约30千米、宽度约5800千米的光环；它有长达30000千米的极光，波及到土星磁场的范围；它有多达16颗卫星（到2005年这个数字提高到61颗）；木星的卫星木卫一有9座喷发的火山，是火山活动最激烈、最频繁的天体，它的颜色特别红，比火星还红；土星的光环有许多条，都可细分成数千条小环；土星有兆瓦级能量的强磁场、极强的电磁辐射、多达23颗卫星（到2007年，人类观察到的土星卫星已达到31颗）等等。卡西尼—惠更斯项目对土卫六这颗太阳系第二大天然卫星的观测也极富成果，它是太阳系中唯一有大气的天然卫星，表面温度大约为-180摄氏度，有液态碳氢化合物形成的湖泊、河流甚至海洋。原来人们一直认为它是太阳系中最大的卫星，但新的测量结果把原来估计的直径5800千米改写为4828千米，从而小于木卫三而屈居第二。

1986年1月，旅行者2号探测器就近观察了天王星。它发现了天王星的10颗新卫星，从而将观察到的卫星数增加到15颗。1989年8月25日，它逼近太阳系第八颗行星——海王星，发现海王星有5条光环，还新发现了海王星的6颗卫星。此外，海王星还有宽4300千米的黑色风云带和巨大黑斑以及一个被辐射带包围着的磁场。旅行者2号探测器对海王星卫星——海卫一的考察更令科学家们激动不已：海卫一比过去所想像

的更亮、更小、更冷，是太阳系中最冷的一个天体，平均温度只有-240℃。旅行者1号在考察完土卫六后，于1988年11月离开太阳系。旅行者2号探测器于1989年10月离开太阳系，朝天空中最亮的恒星天狼星飞去。

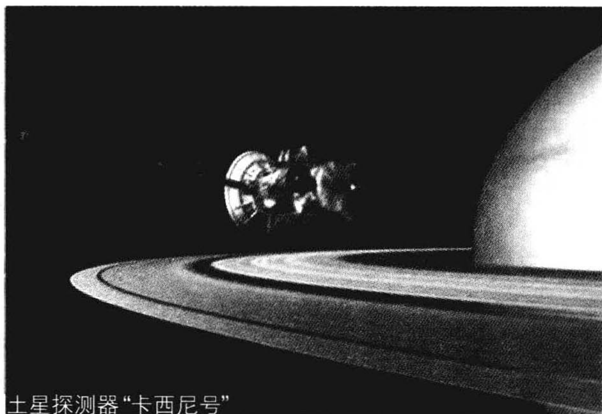
旅行者号探测器同样肩负着寻访地外文明的历史使命。它们各带有一套反映人类状况的镀金铜质声像片和一枚金刚石唱针，可保存10亿年左右。声像片的116张照片和图表基本上反映了地球人的形态、工作、生活、文化、艺术、科学技术以及地球环境、自然界各种现象、地球生物和生态的概貌。录音带上有地球上60种语言的问候语、婴儿的啼哭、心跳声和座头鲸的歌唱，还有27首世界各国古典和现代音乐的录音。其中入选的中国乐曲是古琴曲《流水》。

伽利略号和卡西尼号探测器

“先驱者”和“旅行者”探测器都是从几颗大行星近傍飞过，距离仍然较远，观测的时间也很短，因而对木星和土星等仍有许多谜团未能解开。因此，美国在20世纪80年代初就开始研制在这两颗行星上登陆考察的探测器。它们分别是考察木星的伽利略号探测器和和考察土星的卡西尼号探测器。

1989年10月18日，航天飞机亚特兰蒂斯号将伽利略木星探测器送入轨道，开始了长途旅行。它肩负的主要任务有：1. 对地月系统进行观测研究；2. 对木星大气进行深入观测研究；3. 长期观测木星及其卫星系统。

伽利略号木星探测器重约2550千克，造价达15亿美元。它上面除有通信、数据传输等系统外，还装备有15个科学探测仪器，主要有：


土星探测器“卡西尼号”

多种照相机、分光计、磁场和粒子测量仪、高度粒子探测仪、等离子体探测仪、等离子体波分系统、尘埃探测仪、重粒子计数器等。整个探测器由两大部分组成，一是轨道舱，一是下降舱。轨道舱上有一个直径达5米的天线。伽利略号探测器上还有两级发动机，用以提供转移飞行的动力。

伽利略号探测器从航天飞机释放后，首先利用上面级火箭加速并朝太阳飞去；中途遇到金星后被加速到每秒30多千米，进入更大的环日轨道。后经两次加速，速度大大增加，达到每秒38.9千米，正式朝木星方向飞去。

1995年12月，伽利略号木星探测器到达木星，它先释放下降探测器。这个重339千克的探测器在木星的引力下加速，以每秒50千米的速度冲入木星大气。随着阻力减速，探测器立即投入工作。

1996年1月22日，美国宇航局公布了伽利略号下降探测器传回的木星大气层数据的初步分析结果。这个探测器遇到了极其强烈的狂风和湍流，风速达到每小时530千米，比估计的快180千米。木星大气比预计的干燥得多，含水量极少，也没有地球大气中的那种云。木星大气成分与太阳相似，主要由氢和氦构成，但氦的含量只有预计的一半，其他元素如氖、碳、硫、氧的含量也比预计的低。科学家认为，对木星大气数据的分析，可能会改变目前关于木星和太阳系其他行星形成过程的理论。

伽利略号在轨道器分离后进行变轨，并在木星及其卫星的作用下，交错穿插于这个小太阳系之间，进行了为期两年的考察。对木星卫星的探测中，有不少发现：证实木卫一表面有强烈的火山活动，喷发出大量二氧化硫，有200多个撞击坑。表面温度60度～120度。发现木卫二表面覆盖一层8千米～16千米厚的冰层，表面发育褐色网状裂缝，长达1500千米，可能是冰层受潮汐挤压形成的地形。冰层下为海洋，海水深50千米～80千米。木卫二洋底发现火山，提供海洋热能。水、有机物和热能表明木卫二有可能存在原始的生命活动。

1997年10月15日美国与欧洲联合研制的卡西尼号土星探测器发射升空。这个探测器的重要载荷惠更斯探测器由欧洲空间局研制。它是人

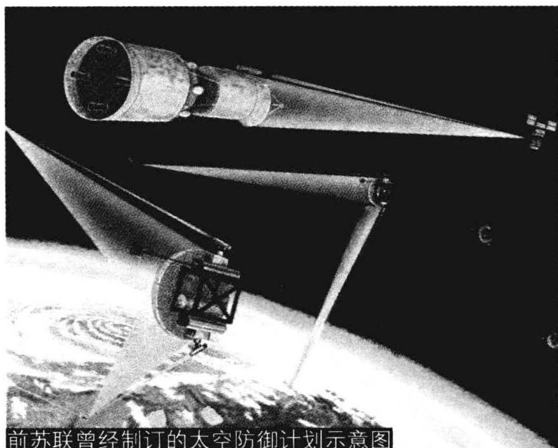
类有史以来研制的体积最大、造价最高的无人驾驶太空船，约有两层楼高，价值34亿美元。经过近7年的飞行，卡西尼号探测器于美国东部时间2004年6月30日（北京时间7月1日）抵达预定轨道，开始拜访土星及其卫星家族。这是人类首次针对土星及其31颗已知卫星最详尽、最深入的探测。7月1日10时10分，卡西尼号土星探测器旋转角度，其高低增益天线可以保护飞船在穿过土星环平面时免受尘埃粒子撞击。10时36分，探测器启动发动机减速，依靠土星重力进入运行轨道。12时12分卡西尼号进入土星轨道，13时03分到达距土星最近点19980千米。2004年12月25日，惠更斯探测器与卡西尼号分离，开始历时22天的飞往土卫六的旅程。2005年1月14日，“惠更斯”探测器进入土卫六的大气，在降落伞的帮助下，大约两个半小时后在土卫六着陆。从进入土卫六的大气层直到着陆，“惠更斯”携带的6部科学仪器通过卡西尼号转发了三个小时的科学数据，有土卫六表面的照片，甚至还有降落时土卫六上的风声。这是人类到过的太空探测器最遥远的一次登陆。



24 前苏联成功发射空间站

宇宙飞船是一种载人天地往返的飞行器，它的体积小，飞行时间短，难以完成大型科学研究活动，因此人们认识的能在轨道上长期运行（几年以上）的大型空间站才是未来载人航天的核心。20世纪60年代，前苏联和美国都积极发展空间站，但这一次又是前苏联领了先。

前苏联军用空间站计划


前苏联曾经制订的太空防御计划示意图

在前苏联空间站发展过程中，切洛梅设计局做出了巨大贡献。1964年10月12日，切洛梅设计局被授权研制钻石号军用载人空间站，1965年正式开始发展。该空间站计划安装侦察设备、对地观察设备、通信设备、轨道机动设备，甚至还有反卫星的机炮。由于无人驾驶侦察卫星的发展，载人侦察空间站后来显得不必要了。因此在发射了几座空间站后，该计划停止了。但钻石号空间站以及载人转移飞船的设计后来在前苏联的空间站计划中一直发挥着重要作用，礼炮号和和平号空间站都是在它的基础上发展来的。

最初钻石空间站计划分为两个阶段。第一阶段，研制20吨的钻石号空间站，它包括乘员舱和再入舱，可以用质子号火箭一次性发射。第二阶段，发射空间站执行轨道侦察任务，由服务性的载人转移飞船定期维护和支援。1966年，计划进行了修改，第一阶段将空间站研制、发射、试验结合一起。在钻石号空间站发射入轨后，使用联盟号载人飞船承担天地往

返运输任务。这个阶段空间站主要进行侦察和定位的评估工作。第二阶段，由载人转移飞船定期与空间站的两个对接口对接，完成持续的操作任务，空间站正式投入使用。

1965 年 1 月 1 日，苏共中央和部长会议批准了钻石号空间站。该计划分两部分：钻石-A和钻石-B。完整的计划还包括发射工具质子号运载火箭。

钻石-A号空间站是第一个完全自主的轨道站，带有一个轨道舱和一个再入舱，质量分别是 15 吨和 4.9 吨，结合在一起大约为 20 吨。轨道舱与再入舱通过一个气闸通道相连接，宇航员可以进出两个舱段。轨道舱可维持 3 个月的使用寿命。在第一阶段，钻石号空间站不需要与其他航天器对接，完全实现自主飞行。原计划钻石-A 空间站在 1969 年实现飞行。

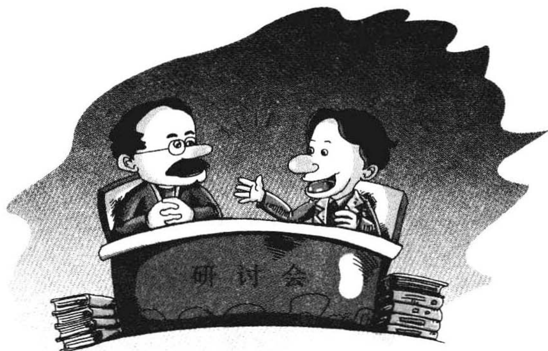


钻石-B 号空间站具有一年的寿命，它可以自主飞行，也可以由转移飞船访问补给。空间站和飞船都带有再入舱。空间站部分总质量约 17.8 吨，具有 100 平方米的内部空间；飞船部分重 17.5 吨，内部空间 45 立方米。完整的钻石-B 复合体可提供 89.4 立方米的居住环境，最多可以携带 6 名乘员。飞船部分带有完整的导引、电气和对接机构，还带有充分的消耗品，可以与空间站对接 10 次。它也可以独立飞行，能够在轨道上机动。再入舱可以重复使用 10 次。

在美国国防部长麦克纳马拉宣布研制载人轨道实验室后，前苏联希望能够尽快研制一种不太大的空间站以迎接美国的挑战。为此，第一设计局分部总设计师科兹洛夫开始设计联盟-R 号空间站，它包括两个独立的飞船，都是在联盟号飞船基础上改进的，它们对接在一起共计 13 吨。1964 年 6 月 18 日，前苏联国防部批准研制联盟-R空间站，并要求在 1969 年以前完成，执行侦察任务。

1965年8月24日，苏共中央决议明确提出要求，应当在1967年以前完成这种侦察空间站的研制工作。1966年6月30日，前苏联又决定停止联盟-R空间站的研制，由钻石号轨道空间站将其替代，联盟-R的许多任务也移交给钻石号空间站。

礼炮号民用空间站



前苏联科罗廖夫领导的第一特别设计局很早就提出大型空间站计划，但未获批准。1969年8月的一天，第一特别设计局几位工程师提出建议：使用钻石号的壳体，安装联盟号的设备，附加新的对接装置，可以研制一种新的空间站，它的重量大约为18吨，可由质子号运载火箭一次性发射。采用这种组合方式，可以大大节省时间，大约可在一年完成。

钻石号空间站与联盟号飞船的杂交，形成了一种全新的载人航天器——礼炮号空间站（即DOS，长期轨道空间站）。两个设计局的设计师很快达成了共识，准备向上级部门推荐这种能够很快发射并投入使用的空间站。1969年10月，这个杂交的礼炮号空间站计划得到了乌斯季诺夫等高层领导人认可。1969年12月，前苏联召开空间站决策会议，批准了这个计划，要求在18个月内发射空间站，击败美国的天空实验室，向苏共24大献礼。

1970年2月，前苏联政府发布开始研制DOS空间站和调整钻石号空间站的正式命令。联合研制DOS空间站的紧急计划是要建造一座民用型空间站，发射时间一定要早于美国的天空实验室空间站。这个后来被

命名为礼炮号的空间站采用了钻石号空间站的主体结构，安装了联盟号飞船的功能系统。2月9日，中央机器制造部发布命令，DOS空间站将以钻石号为基础，第一座空间站将于一年内完成。

钻石号空间站改成DOS空间站主要对以下结构布局进行了调整：增加一个进出系统，类似于联盟号的被动式对接机构，在空间站的前面增加一个气闸舱；增加一个发动机系统，以使联盟号飞船能够对接在空间站的尾部；安装联盟号飞船的太阳能电池板。这项工作于1970年2月开始。为了掩盖军用空间站的事实，前苏联将两种空间站都命名为礼炮号。

礼炮系列空间站第一个是礼炮1号。与钻石号空间站外形结构略有不同，它由3个直径不同的柱形舱段组成，总长约14.5米，总重约18.3吨。头部是直径2米的过渡舱，顶端有对接系统，用于同联盟号飞船交会对接，作为宇航员和物资的通道。过渡舱装有2个矩形太阳电池帆板。中间是双圆柱体工作舱，长约9.1米，直径分别为2.9米和4.15米，内部工作舱容积为85立方米。尾部是仪器/推进舱，除装有必要的仪器外，还有一台主发动机，推力约420千克力，它可多次启动工作，总工作时间达1000秒以上。


前苏联的"和平"号空间站

礼炮1号空间站主要基本分系统包括主控制系统，它既可自动进行，亦可由宇航员手控或地面遥控进行；方位和运动控制系统，用于对接操纵；发动机姿态与机动控制系统，用于轨道机动和交会操纵；无线电指令与电视控制系统；远距离通信系统；无线电遥测系统，用于探测进步号目标飞船；电源系统；生命保障系统以及生物医学装置。为了保证宇航员操纵空间站

运行和完成既定的实验与观测任务，礼炮1号空间站设置了7个工作台。

载人空间站发射成功

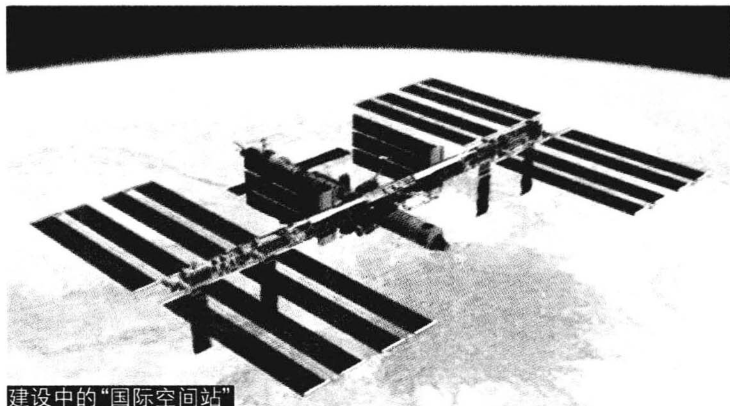


1971年4月19日，一枚质子运载火箭将礼炮1号空间站送入200×222千米、倾角为51.6°的轨道上，运行周期88.5分钟。经过9圈的地面测控，礼炮1号运行和工作正常。接着前苏联正式向全世界公布了这一消息，宣称前苏联已拥有了世界上第一座空间站。礼炮1号发射升空，标志着人类进入太空的一个新阶段的开始。

6月6日，联盟11号飞船载着宇航员杜勃洛夫斯基、伏尔科夫和帕察耶夫进入轨道。第二天，两个航天器逐渐接近，在150米的距离上开始交会对接操作。这个过程也进行得比较顺利。在对接的同时，飞船电气系统和液压系统也同礼炮1号连接。经过压力调节并打开舱门后，宇航员进入了空间站。6月8日～9日，他们操纵联合体进行了多次较大的轨道机动，一度使轨道变为256×282千米。从6月10日号开始，他们按计划进行了各种实验工作。联盟11号飞船在返回时，指令舱的一个压力调节阀在与轨道舱分离时被打开了，舱内空气泄出，宇航员因缺氧窒息而死。这是载人航天史上第一次重大灾难事故。

1969年底，切洛梅设计局的赫鲁尼谢夫工厂已经生产出了8个供试验用的钻石号空间站和2个正式使用的空间站。该设计局组成了一个特别试验队，进行宇航员的训练和测试。在地面试验期间，一切都将按正式飞行要求进行。

钻石号空间站主体分为两部分，前面是锥形的回收舱，后面是增压舱，总重20吨。增压舱又分为两个单元，较小的部分直径2.9米，长3.8


建设中的“国际空间站”

米；较大的部分是柱形结构，直径4.15米，长4.1米。增压舱的总容积为92立方米。空间站的大型柱形舱段可以载人，主要用于安装侦察装置。末端球形对接舱可以与飞船对接，宇航员可通过这个舱进入外层空间。

1973年4月3日，第一艘钻石号空间站以礼炮2号的名义发射，进入轨道后两个月即与地面失去了联系。第二座钻石号空间站以礼炮3号的名义，于1974年6月25日发射。在轨道上运行15圈后，联盟14号飞船与它对接在一起，开始首次执行军用空间站任务，主要是军事目标侦察及其价值的判断，此外还有生物医学实验。

以礼炮5号命名的第三个钻石号空间站于1976年6月22日发射，在轨道上运行了409天，期间接待了联盟22号和联盟24号飞船送来的两批宇航员。宇航员在礼炮5号上进行各种试验300余次，还进行了许多技术开发试验。1977年8月8日，礼炮5号坠入大气层。

民用型的礼炮4号空间站于1974年12月26日发射。1975年1月10日，联盟17号飞船发射。在同礼炮4号对接后，宇航员开始进站工作，5月24日，联盟18B载两名宇航员进入轨道。这两组宇航员在礼炮4号上工作生活90多天，进行了一些研究和实验活动。礼炮4号于1976年2月16日坠入大气层。

经过礼炮1号到礼炮5号的发射与应用，前苏联又改进研制了第二代礼炮号空间站——礼炮6号和7号。

1977年9月29日，礼炮6号空间站发射升空。它在轨运行共计58个

月，接待了16艘联盟号飞船和12艘进步号货运飞船，共有33名宇航员进站工作。33名宇航员中，除前苏联宇航员，还有捷克斯洛伐克、波兰、民主德国、匈牙利、越南和古巴宇航员各1名。在宇航员进站工作期间，完成了大量科学观测、地球资源观测、人体生物医学研究和技术实验。更具有应用意义的工作则是进行了大量半导体、晶体生长实验和用结晶炉及合金炉进行了金属冶炼实验。宇航员还在太空首次熔化了玻璃。这项工作对于制造高性能光导纤维有重大意义。

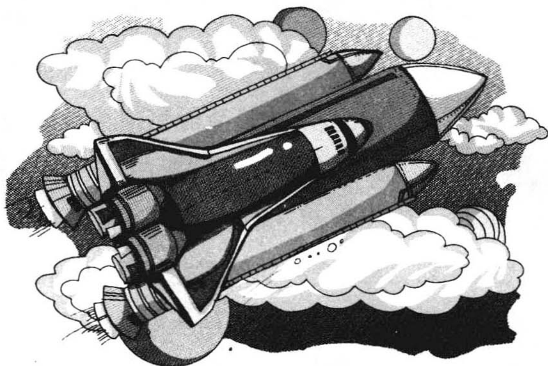
1982年4月19日，礼炮7号空间站发射入轨道。这座空间站在轨道运行期间，共接待了10批27名宇航员。联盟T-10号的宇航员基茨姆、索洛维耶夫和阿特科夫创造了在轨时间的新记录237天。他们于1984年2月9日升空，于10月2日返回地面。礼炮7号的宇航员进行了6次舱外活动，累计时间近23小时。宇航员共进行了120多项实验，拍摄了1万张地球和太空照片，丰富了空间科学宝库。1991年2月7日，礼炮7号坠入大气层烧毁。

礼炮号空间站在应用上仍有很大的局限性。随着空间活动的扩大，这种相对简单、任务单一的空间站显得规模太小，不易扩展，从而限制了有效载荷的规模。这些都要求有更新的大规模空间站替换。在这种背景下，前苏联又发展了第三代和平号空间站。

知识链接 前苏联早期空间站一览

序号	空间站名称	性质	发射-坠毁时期	接待人数
1	礼炮1号	民用	1971.04.19 ~ 1971.10.11	2批6人
2	礼炮2号	军用	1973.04.03 ~ 1973.05.28	
3	礼炮3号	军用	1974.06.25 ~ 1975.01.24	2批2人
4	礼炮4号	民用	1974.12.26 ~ 1976.02.16	2批4人
5	礼炮5号	军用	1976.06.22 ~ 1977.08.08	2批4人
6	礼炮6号	民用	1977.09.29 ~ 1982.07.29	16批33人
7	礼炮7号	民用	1982.04.19 ~ 1991.02.07	10批27人

25 美国研制成功航天飞机



空间站是载人航天活动的核心，要使其长期正常运行，必须由天地往返飞行器定期补给，互换宇航员。在20世纪80年代以前，宇宙飞船承担起天地运输任务。由于宇航飞船载重量小，不能重复使用，因此维护空间站的成本很高，灵活性也不足。在这种情况下，发展航天飞机成为解决这一问题的重要步骤。1981年，美国率先发射成功航天飞机。

航天飞机决策

航天时代开始后10多年，运载工具都是一次性的，发射任务完成其生命也就结束了。20世纪60年代以后，随着航天技术的深入发展，美国宇航局开始关注于可重复使用的航天运载工具问题。当时已经认识到，重复使用运载工具将是未来航天发展的方向。1962年～1968年间，宇航局各研究中心曾分别指导北美航空公司、波音公司、洛克希德公司、通用动力公司、马丁·玛丽埃塔公司对可重复使用的航天运载工具进行可行性研究。宇航局载人航天器中心在对前一阶段研究进行总结后，提出了研制航天飞机的设想。

在介绍研制航天飞机的必要性时，宇航局说："1.作为由宇航局和国防部联合使用的国家运输能力，可以取代现有的12种不同的运载火箭；2.为应付有关国家安全的突然事件，能提供一种经过短时间的准备就能发射入轨，并完成各种任务，具有足够机动性和横向机动距离的能力。"为此，航天

飞机初步设计时，运载能力和载荷舱基本尺寸都优先满足国防部系统载荷的要求。1971年春，宇航局新局长弗莱彻走马上任，开始了广泛的游说活动。

首先要做的重要工作是争取有国防部作后盾。为此，航天飞机的性能大都是以国防部的要求确定的。例如载荷舱尺寸长18.3米，低轨道运载能力29.5吨，只有载荷舱宽度为4.6米是宇航局根据发射空间站舱体的需要确定。可以说，航天飞机的军事潜力和国防部的支持起了关键作用。

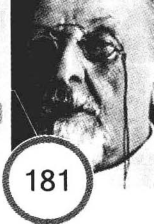
美国国会方面在此期间召开了多次听证会。虽然有的议员反对航天飞机计划，但国会总的态度是航天计划应当继续，但国会不再支持像阿波罗那样的探险计划，新的航天计划应更加强调科学和应用价值，应尽量减少发展成本。他们对航天飞机拥有的潜力表示高兴，但计划预算不应超过50亿美元。宇航局对此许下诺言。

1972年1月3日，尼克松批准了全尺寸航天飞机发展计划。1月5日，尼克松在白宫新闻发布会上正式公布了研制航天飞机的决定。他说："我在今天决定，美国立即开始全新的航天运输系统的发展工作。研究这种系统有助于把70年代的太空前沿变成熟悉的疆域，使80年代乃至90年代人类的太空活动变得更加容易。"尼克松总统的最后决定消除了方方面面的异议，使阿波罗计划之后又一项重大的计划：航天飞机计划轰轰烈烈地开始了。

航天飞机研制过程



航天飞机设计方案经过多次演变，最终确定为大部分可重复使用的"三位一体"方案：一架航天飞机轨道器背后有一只巨大的、一次性使用的外贮箱，在外贮箱的两侧各有一只大型固体火箭助推器。整个系



统被称为“航天运输系统”，包括轨道器、外贮箱和助推器三大件。习惯上人们把类似于飞机的轨道器称为航天飞机。



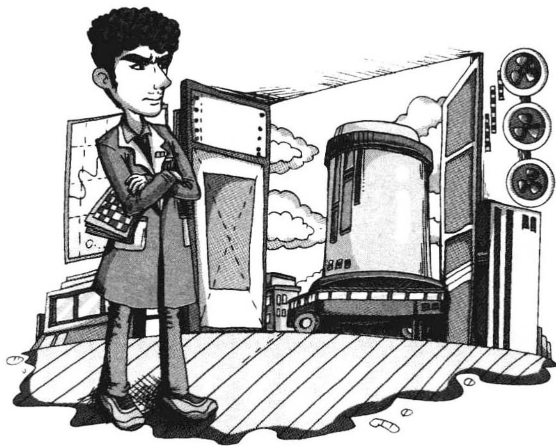
1986年1月28日“挑战者号”航天飞机在发射升空后不久爆炸

1972年7月26日，宇航局选定北美洛克韦尔公司为航天飞机轨道器主承包商并负责全部发射系统的组装。航天飞机研制工作从1973年开始铺开。按照1972年3月确定的最后方案，航天飞机系统的大致尺寸为：轨道器长27.21米，翼展23.79米，机高17.39米。它的中部有一个长18.3米，直径4.6米的载荷舱。大型外贮箱长47.1米，直径8.38米。两枚固体助推器长45.5米，直径3.7米。航天飞机在起飞过程中的最大过载限制在3g以下，在返回时过载限制在1.5g以内。轨道器在轨运行时间最长30天。

轨道器是航天飞机系统最复杂的组成部分，它大致可分成为前段、中段和尾段。前段是上下两层的宽敞机舱，上层为驾驶舱，下层为生活间，有效容积72立方米。在一般情况下，机舱内可乘载7人，紧急情况下可增加到10人。中段是有效载荷舱，舱门分内外两层，由中间对开。舱门内层是辐射冷却器，外侧则是防热层。尾段除装有3台主发动机外，还包括控制动力系统和推进剂贮箱。

轨道器的分系统异常复杂。这包括23条各种天线，5台计算机，各种控制、通信、导航和操纵系统。在机头的上部和侧部、机尾处，共安装了46台不同大小推力的变轨与姿态控制发动机，小的推力约10千克力，大的约395千克力。

主发动机的技术和性能要求很高。除推力要达到210吨外，还要求推力能在65%～109%之间连续调节以适应不同阶段的不同要求，而且要能重复使用100次。它的燃烧室压力高达204个大气压，喷管面积比77.5，工作时间长达7.5小时。这些高性能要求对结构设计、材料选择、推进剂输送、发动机控制以及加工和制造都是极为困难的。



轨道器表面防热系统是另一个技术难题。航天飞机轨道器表面的防热要求是：结构不能太复杂、重量不能太大、能多次重复使用。经过反复论证，最后决定机身采用常规的铝合金结构，蒙皮表面安装高性能防热瓦。由于各区域再入温度不同，故共研制了4种防热瓦。其承受的温度范围是370℃～1650℃。航天飞机轨道器外表面防热材料总面积为1100平方米，安装了24000块防热瓦，总重约7吨，占结构重量的10%，大大低于其他任何航天器。

航天飞机固体助推器是在大力神IIIC运载火箭的助推器基础上研制的，由锡奥科尔公司承包。助推器壳体由11段组成，每一段上端有一个U形槽，与上一段的下端相接，并由177个螺栓固定。助推器壳体材料是1.27厘米厚的无缝钢管，内部可装填500吨推进剂，推力1266吨，由小火箭引燃。助推器尾部安装3.76米直径的喷管，可偏转6.65°角。

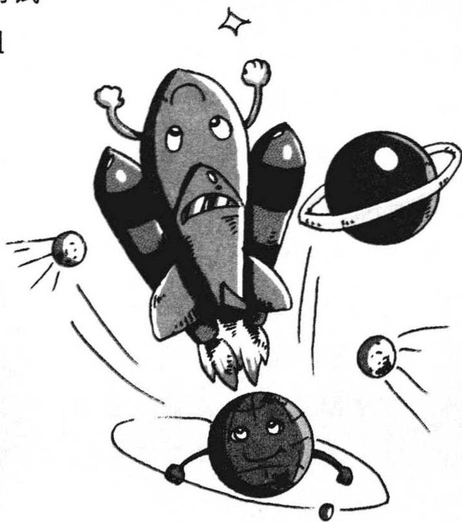
外贮箱是航天飞机系统中最大的部件，也是不可回收的部件。它采用桁架蒙皮结构，所用材料主要是铝合金。外贮箱空重34.6吨，可加注推进剂700余吨。在研制过程中，外贮箱解决的重大技术问题有两个。一是加工制造问题，二是绝热问题。为了制造这个空间的庞然大物，马丁·

玛丽埃塔公司设计制造了 364 件专门工具。为了解决液氢汽化和泄漏问题，专门研制了新型的绝热材料。

哥伦比亚号首次太空飞行

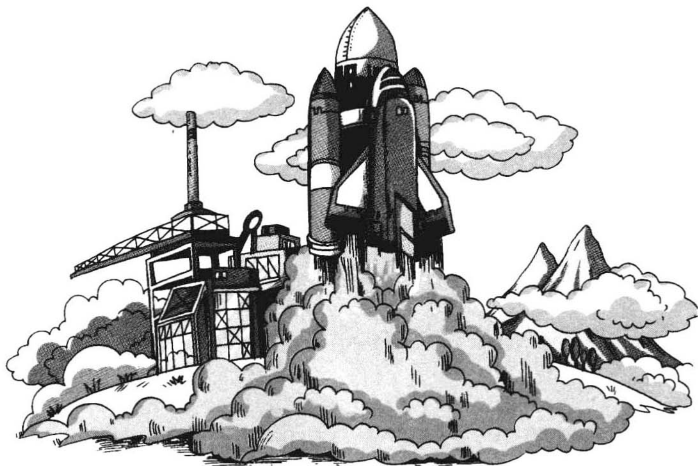
1976 年 9 月 17 日，第一架航天飞机轨道器（运载器No101）企业号在洛克韦尔公司组装完毕并于 1977 年 1 月 31 日从地面上运往阿拉巴马州的德莱登飞行研究中心，然后又用改装的波音 747 客机运抵肯尼迪航天中心。在进行严密的地面检查后，从 1977 年 2 月到 5 月，企业号航天飞机在波音 747 背驭下进行了 6 次不载人空域飞行和 5 次载人空域飞行，以考查轨道器在飞行中的稳定等气动性能。与此同时，宇航员在地面的模拟器中进行操纵训练。1977 年 8 月 12 日开始了载人自由飞行试验。它由波音 747 携带到 8600 米高，经过必需的检查后，从空中释放，由宇航员操纵滑翔和进场着陆，前后共进行了 8 次。

经过 9 个多月的飞行试验，验证了航天飞机的气动设计、操纵特性、适应特性以及稳定特性，证明满足了设计要求。尔后，企业号又与外贮箱结合在一起进行了一系列地面振动试验和强度试验，然后与助推器组合构成完整的航天飞机系统，完成了整机垂直振动等大型试验。企业号的试验工作直到 1979 年 4 月才告结束。这样它的使命也就终结了。未来的全部工作都要由另外四架航天飞机来做。1979 年 1 月 25 日，宇航局为它们进行了命名：轨道器 102 号为哥伦比亚号；099 号为挑战者号，103 为发现号；104 号为亚特兰蒂斯号。



1979年3月24日，哥伦比亚号航天飞机完成了装配，由波音747空运到肯尼迪航天中心。1980年11月29日，哥伦比亚号完成了发射前准备工作，并与外贮箱和固体助推器组装移到39A发射台上。在正式发射之前，它的3台主发动机进行了点火试验。

1981年4月12日，哥伦比亚号发射升空。担任轨道飞行任务的是约翰·杨和罗伯特·克里平，主要目的是验证轨道器轨道飞行能力、稳定与操纵特性、再入与着陆特性，同时还试验入轨后货舱门的开闭特性以及机上惯性基准的建立。航天飞机的首次飞行从当地时间（美国东部时间）4月12日上午7时开始，到4月14日东部时间13时20分52秒结束，历时54小时23分，绕地球36圈，最后在加利福尼亚州爱德华兹空军基地降落。大约有100万人从世界各地赶到卡纳维拉尔角观看了这次发射，美国电视台进行了现场直播。

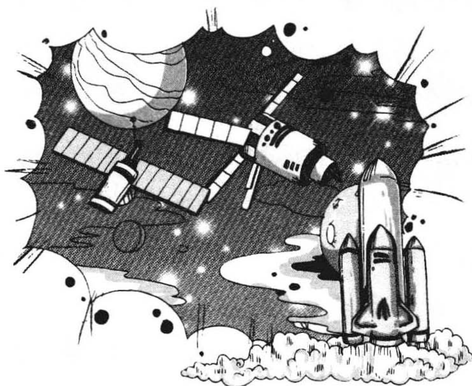


哥伦比亚号首次飞行的基本程序、飞行参数大体如下：航天飞机轨道器主发动机和助推器发动机点火，航天飞机起飞。在不到1分钟时间里，达到了超音速。在2分11秒，固体助推器分离；8分32秒时，主发动机关闭；8分32秒时，外贮箱分离。此后，轨道调整发动机进行几次点火，航天飞机于发射后12分钟进入低轨道，然后又经过调整进入较高的轨道，轨道近地点高度是242.1千米。

哥伦比亚号进入轨道后，宇航员进行了货舱门开闭试验、惯性测量试

验、星定位试验、舱外活动、进餐、飞行控制系统检测、电视转播、睡眠、姿态控制火箭发动机试验、座舱内气体组分及压力检测、更换二氧化碳吸收器等工作。哥伦比亚号的首次轨道飞行，是航天史的一件大事，它标志着可重复使用载人航天器时代的到来。

1981 年 11 月 12 日～14 日，哥伦比亚号进行了第二次轨道飞行。这次飞行检验了航天飞机的各种性能和实际使用能力，首次试验了加拿大研制的机械臂的操作能力。1982 年 3 月 22 日～30 日，哥伦比亚号进行了第三次轨道飞行。1982 年 6 月 27 日～7 月 4 日，哥伦比亚号进行了第四次飞行试验。它完成的任务包括进一步的机械臂操作试验、材料加工实验以及科学观测。试验飞行成功后，哥伦比亚号和其他航天飞机正式开始了商业飞行。



知识链接

2000 年 10 月 22 日发现号航天飞机完成 STS-92 飞行任务后，标志着航天飞机整整飞行了 100 次。其中发现号飞行了 28 次，哥伦比亚号飞行了 26 次，亚特兰蒂斯号飞行了 22 次，奋进号飞行了 14 次，挑战者号飞行了 10 次。在 100 次飞行过程中，共有 624 人次进入太空，发射的载荷总重量超过 1360 吨，航天飞机在轨道上的总时间超过 2.5 年，折合人时数相当于 15 年。带入轨道的载荷总数超过 850 个，发射的卫星和探测器 60 余个，回收的载荷 20 余个。在 100 次飞行中，7 次与和平号空间站对接；6 次同国际空间站对接；3 次修理哈勃太空望远镜；发射了探测木星、土星、金星和太阳的探测器；完成了数百项有关生命、植物、金属、材料方面的科学试验。航天飞机绕地球飞行超过 10000 圈；总航程超过 5 亿千米。

1986 年 1 月 28 日美国东部时间 11 时 38 分 10 秒，挑战者号航天飞机进行第 10 次发射，也是航天飞机的第 25 次飞行任务。在挑战者号升空后 73 秒钟，伴随着巨大爆炸把轨道器炸成碎片，7 名宇航员斯科比、史密斯、雷斯尼克、埃森·鬼冢、麦克奈尔、贾维斯和克里斯塔·麦考利夫全部遇难。这是航天史上最大的实验性事故，使全世界感到巨大的震动。

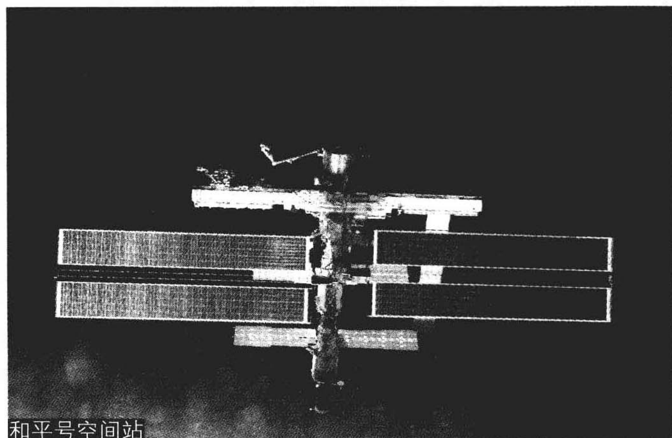
事故调查委员会很快就对挑战者号航天飞机事故的直接原因和发生的过程做出了结论：在挑战者号升空后不久，右侧固体助推器后接合部因段体膨胀而略有变形（此属于正常现象），由于环境温度过低，O 形密封圈弹性变差，没有达到它原来密封的位置。密封性变差使接合部靠近外贮箱的部位发生燃料蒸发物泄漏。很快，灰色蒸发物变成浓黑的烟雾，接合部密封部位的润滑剂、绝热材料和 O 形密封圈已受到燃气的烧蚀。当主发动机加大推力时，接合部出现了火舌。大约在起飞 15 秒钟时，火舌已发展成连续的清晰的火焰。这个火焰成了一个高热的喷灯，对着外贮箱烧烤，外层绝热层很快烧坏，接着又烧向铝蒙皮。铝蒙皮损坏后，急剧冒出的氢气立刻被点燃并向后顺气流冲击。液氢贮箱的进一步破坏、右侧助推器的摆动撞击着液氧箱，巨大的冲击力使液氧箱底部撞坏。就在这一瞬间，大量氢氧混合物酿成巨大的爆炸。此时挑战者号的高度约 14 千米，速度达到 M1.92。爆炸形成的超音速扩散的气团给挑战者号造成 20 倍重力的冲击，使之解体、四散开来。

26 和平号空间站发射与运行

早期空间站有许多不足之处，潜力有限，不能完成大规模、专业性更强的科学技术任务。而且，单舱式结构使仪器设备相互干扰较大，微重力环境不佳。此外，它设计上存在的问题在长期运行过程中暴露了出来。1986年，前苏联发射成功能够长期使用的多舱段空间站和平号，运行15年中成果辉煌。

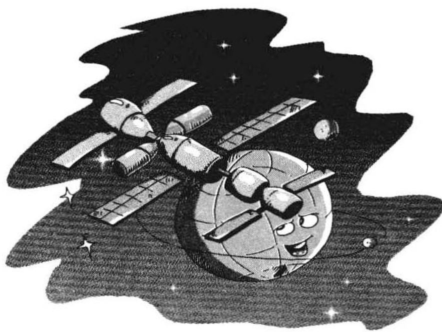
和平号的起源与演变

1976年2月17日，前苏联政府正式做出决定，研制第三代空间站。当时计划建造两座空间站——DOS-7和DOS-8，每个空间站都有前后2个对接口和2个位于前部侧面的对接口。在1978年8月完成设计图纸时，两种空间站的设计合并变成了后来的和平号空间站的核心舱：一个尾部的对接口和一个前部的球形对接舱，对接舱共有5个对接口，这样和平号空间站共有6个对接口。直到此时，和平号空间站核心舱计划对接的航天器都是联盟号飞船规模的7吨实验舱段，相当于联盟号载人飞船和进步号货运飞船，但中间的轨道舱有所加长，这样可以进行更大规模的科学实验。


和平号空间站

和平号空间站是前苏联航天计划最辉煌的一项成就。在设计时它的寿命只有5年，各组成部分计划由质子号火箭和能源/暴风雪号航天飞机发射。它的舱段最初是由切洛梅设计局60年

代设计的钻石空间站改进而来。随着前苏联的解体，和平号仍然在轨道上运行，但最后的舱段拖延了几年才发射组装完毕，并且得到美国的财政支持。和平号空间站保持在轨飞行15年之久，大大超过了预期的寿命。



和平号空间站的主体仍然是一个舱段式结构。它的总长13.13米，最大直径4.2米，总重量20.4吨。它由4个基本部分组成：球形增压转移舱，直径2.2米，上面装5个直径均为0.8米的对接窗口，径向1个，侧部对称4个；增压工作舱，这是空间站的主体，总长为7.67米，两个柱形段的直径分别为2.9米和4.2米；不增压服务/动力舱，位于空间站尾部，长2.26米，直径4.2米，除装有主发动机（推力2×300千克力）和推进剂外，还装有对接天线、探照灯、无线电通信天线等；增压转移对接器，它长1.67米，直径2米，位于服务/动力舱中央，提供第6个对接通道。

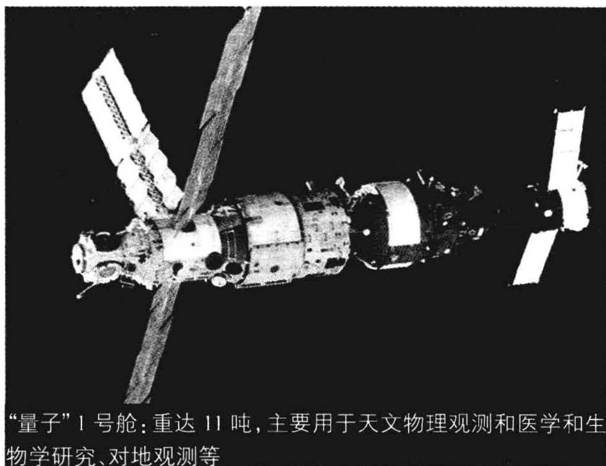
与礼炮号空间站相比，和平号空间站的改进十分明显。第一，对接窗口由2个增加到6个，从而大大提高了空间站的工作能力。第二，首次使用了大面积砷化钾高效太阳能电池，包括3个太阳能电池板，总面积98平方米，能提供电能10.1千瓦。第三，站上装有8台计算机，它们控制各种系统和装置的工作，控制空间站的姿态和轨道，为宇航员提供各种显示数据，设备自动化程度很高。第四，和平号空间站上装有遥控机械臂，它有效地解决了实验舱难以在侧向停泊对接口归位的问题。第五，空间站主体内基本上不装科学设备，主要安装控制台、生命保障系统、身体锻炼设施、生活用品和休息室。第六，和平号空间站建成后，可实现与地面实时通讯。第七，采用积木结构，和平号空间站可以和5个大型专业实验舱对接，因而实验的规模和范围可以很大，灵活性也大大提高。空间站建成后，可为2～6名宇航员提供400立方米的有效空间。

研制发射与组装过程

1986 年 2 月 20 日凌晨，一枚三级质子号运载火箭将和平号空间站主体发射升空。前苏联通过电视向全世界现场直播了这一实况。和平号的发射，标志着在近地轨道建造的第一个组合式空间站的开端，它的历史意义十分重大。经过 4 天的运行，和平号进入一条 324×352 千米、倾角 51.6°的轨道。

1986 年 3 月 13 日，前苏联发射了联盟 T-15 号飞船。宇航员基齐姆和索洛维耶夫驾驶飞船于 15 日同和平号对接。他们的主要任务是对空间站进行全面检查。3 月 29 日，他们首次使用宇宙 1700 号中继卫星与地面进行了通信。宇航员进行的其他工作还有：安装科学仪器、检验各个对接口、对地观察。5 月 5 日，两位宇航员乘联盟 T-15 离开和平号，作轨道机动并与礼炮 7/宇宙 1686 复合体对接，完成了第一次空间转移飞行。6 月 26 日，他们乘联盟 T-15 再次返回和平号。5 月 22 日，试验型联盟 TM-1 号飞船不载人发射，于 5 月 23 日顺利与和平号对接。

1987 年 2 月 5 日，联盟 TM-2 飞船发射，宇航员是罗曼年科和拉维金。这次飞行的时间计划为 10 个月以上。3 月 3 日，进步 28 号向和平号空间站送去了许多大型仪器，包括广角地球物理观测设备、太空加工设备等。1987 年 3 月 31 日，前苏联用质子运载火箭发射了第一个实验舱——量子一号，开始了和平号积木空间站的正式组装工作。


"量子"1 号舱：重达 11 吨，主要用于天文物理观测和医学和生物学研究、对地观测等

量子专业实验舱共有 5 个。量子 1 号又称天文物理舱，是当时前苏联和西欧几个国家联

合研制的天文观测设施，主要用于对大气层外的天文领域进行广泛考察和其他一系列科学实验工作。它长13.1米，呈柱形，总重约20.5吨。它由天文观测舱和服务推进舱组成，装有1.5吨科学仪器和2.5吨各种设备。



量子2号专业舱又称服务舱，长13.7米，总重约19.5吨，舱内容积65立方米。有效载荷总重10.7吨。量子2号安装的科学仪器包括电视光谱综合装置、X射线测量仪、自动旋转平台、西格马光谱综合装置、伽马-2视频分光计和偏光计系统等。

量子3号又名晶体舱。它长12.5米，总重约19.5吨，最大直径4.5米，可带有效载荷10.6吨，内部有效容积60立方米。该舱是以半工业化生产试验为主的功能舱，舱内装有半导体材料半工业化生产试验和生物样品制备等装置，因此装有两个先进的微波熔炉。

量子4号又名光学舱。它长约12.5米，总重19.5吨，可装10.6吨载荷并能提供60立方米的有效容积。量子4号主要用于远距离探测、高层大气物理研究和天体物理学研究，上面装备的科学设备主要是各种谱段的望远镜和照相机。

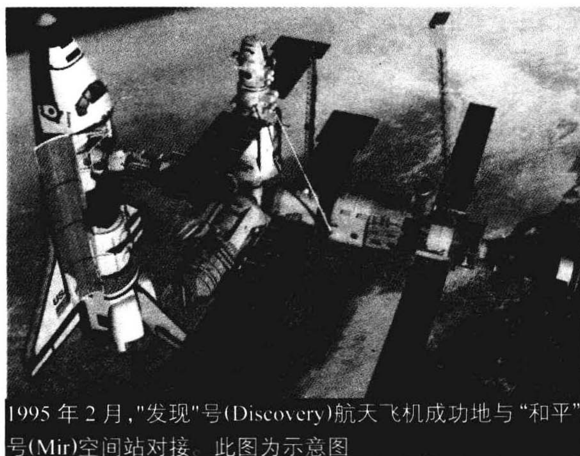
量子5号又名自然舱或生态学舱。它长12.5米，总重约19.5吨，可带有效载荷10.5吨。量子5号主要用于生态学研究，备有国际合作的测量仪器。这些仪器包括雷达、光学雷达、光谱仪、无线电高度表和射频仪。

量子1号发射后于4月12日同和平号空间站核心舱对接成功。量子1号投入使用后完成了许多观测任务，头两年时间就进行了500多次天文



观测，拍摄了上千张星空照片。1989 年 11 月 26 日，量子 2 号发射与和平号对接。1990 年 5 月 31 日量子 3 号发射，于 6 月 10 日与和平号对接。前苏联解体后，和平号的建设工作陷入困境。在同美国签订合作协议后，借美国的资金使建设工作得以继续。1995 年 5 月 20 日光谱舱升空和和平号核心舱对接。1996 年 4 月 23 日，和平号第 5 个实验舱—自然舱发射，并于 3 天后与和平号顺利对接，组装工作全部完成。

和平号取得的巨大成就



1995 年 2 月，"发现"号(Discovery)航天飞机成功地与“和平”号(Mir)空间站对接。此图为示意图

完整的和平号空间站全长达 87 米，质量达 123 吨，有效容积 470 立方米。它作为世界上第一个长期载人空间站，自诞生之日起，共在轨道上运行了 15 载，大大超过了 5 年的设计寿命。它绕地球飞行 8 万多圈，行程 35 亿千米，进行了 2.2 万次科学实验，完成了 23 项国际科学考察计划。共有 31 艘联盟号载人飞船、62 艘进步号货运飞船与其实现对接，还 9 次与美国航天飞机对接和联合飞行。宇航员从这座“人造天宫”出发进行了 78 次太空行走，舱外活动的总时间达 359 小时 12 分钟。先后有 28 个长期考察组和 16 个短期考察组在上面从事考察活动，共有 12 个国家（俄罗斯、美国、英国、法国、德国、日本、叙利亚、保加利亚、阿富汗、奥地利、加拿大、斯洛伐克）的 135 名宇航员在空间站上工作。宇航员在空间站上进行了大量生命科学实验、空间材料学和医学实验，总次数达 1.65 万次，取得极为宝贵的成果和数据。1993 年 2 月，进步M-15 号飞船进行的人造月亮试验取得了成功，显示人类初步掌握了改变宇宙自然力的技术。

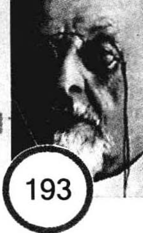
和平号空间站创下了多个世界第一：它是在太空工作时间最长、超期服役时间最长、工作效率最高、接待各国宇航员最多的太空站，俄罗斯宇航员波利亚科夫创造了单人连续在太空飞行438天的最高记录。此外，和平号空间站还在空间商业化等方面进行了许多有益的探索，获得了大量数据及具有重大实用价值的成果，为开发利用太空和人类在太空长期生活积累了丰富的经验。



前苏联通过建造和运行空间站取得了巨大成就，特别是和平号运行的7年时间更是成果辉煌。在医学领域，研究了在太空使用的药物处方、宇航员飞行后的体力恢复方法。在生物学领域，研究了蛋白质晶体生长、高效蛋白质精制、特殊细胞分离、特种药品制备等。在材料和空间加工领域，进行了600多种材料实验，制造了半导体、玻璃、合金等35种材料。在对地观测方面，发现了10个地点可能有稀有金属矿藏，117个地点可能有油脉存在。在天文观测方面也做出了许多重大发现。此外，还开发了大量空间新技术。

和平号空间站还显示了太空旅游的可行性。1989年12月，日本东京广播公司的记者丰广彰山在和平号上作了一次短暂旅行，发回了私人乘坐空间站观感的报道。1991年5月，英国人海伦·沙曼靠私人资助，登上了和平号空间站，沙曼是一家糖果公司的巧克力研究员。2000年6月，美国商人季托花2000万美元进行了一次“和平号之旅”。

从1995年春开始，根据俄美协议，和平号空间站的主要活动是与美国航天飞机对接和联合飞行。俄美联合载人航天飞行，是自1975年联盟—阿波罗之后，美俄间规模最大的联合载人航天活动。这次航天合作既



维持了俄罗斯和平号空间站的组装和运行工作，又使美国在空间站运行经验方面获得很大收益，同时又为国际空间站的建设拉开了序幕。航天飞机与和平号对接和联合飞行共进行了9次。

和平号空间站超期服役，伤痕累累，日渐失去往日的辉煌。1998年8月，切尔诺梅尔金政府做出了销毁和平号的第一次决定。2001年3月23日，莫斯科时间3时32分(北京时间8时32分)，地面控制人员通过和平号的中央计算机向进步号货运飞船发出了第一道制动指令。经过几次制动，空间站开始降低轨道。8时44分，和平号空间站轨道高度降低到100千米，开始进入稠密大气层。8时52分，空间站在80千米的高度上解体和碎裂。约9时整，未燃尽的空间站碎片溅落到了太平洋西部海域。和平号终于又回到了它的故乡——地球。

知识链接 航天飞机与和平号对接联合飞行一览

序号	飞行任务号	航天飞机	发射时间	返回时间
1	STS－71	亚特兰蒂斯号	1995.6.27	1995.7.7
2	STS－74	亚特兰蒂斯号	1995.11.12	1995.11.20
3	STS－76	亚特兰蒂斯号	1996.3.22	1996.3.31
4	STS－79	亚特兰蒂斯号	1996.9.16	1996.9.26
5	STS－81	亚特兰蒂斯号	1997.1.12	1997.1.22
6	STS－84	亚特兰蒂斯号	1997.5.15	1997.5.24
7	STS－86	亚特兰蒂斯号	1997.9.25	1997.10.6
8	STS－89	奋进号	1998.1.22	1998.1.31
9	STS－88	发现号	1998.6.2	1998.6.8

27 哈勃望远镜的发射

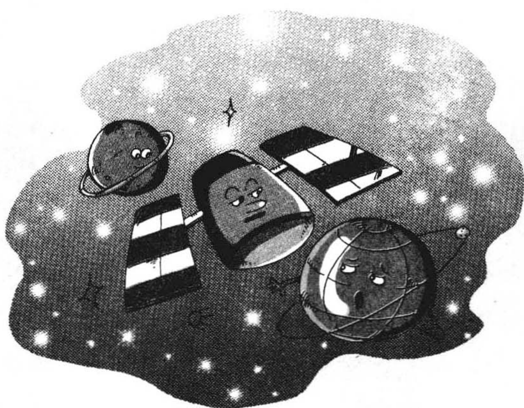
航天时代开始后，前苏联和美国发射了一系列天文观测卫星。由于没有大气和地面杂光的干扰，天文卫星观测的效果更佳。在众多天文卫星中，美国1990年发射的哈勃太空望远镜影响最大，获得的科学成果也最突出。

哈勃望远镜的研制

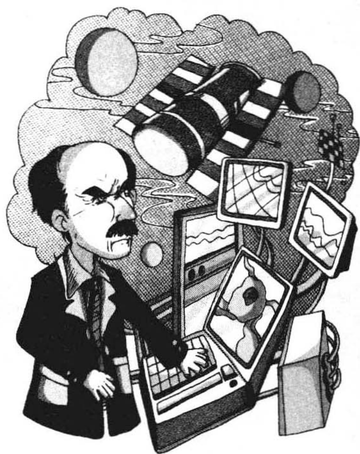

哈勃太空望远镜效果图

苏美等国自20世纪60年代开始，发射了不少专用或多功能兼备的宇宙探测卫星（天文卫星）。观测对象包括宇宙星系、各种射电源、类星体、新星和超新星、黑洞、星际分子、宇宙背景辐射等。除各波段的天文卫星外，还研制发射了一些可见光天文卫星，即天文望远镜。在众多的天文卫星和探测器中，名声最响、影响最大，同时人们寄予希望最大的是美国在70年代就已制定计划，准备在1983年发射的哈勃太空望远镜。但由于航天计划受挫造成的影响，这个设想直到90年代初才得以实现。1990年4月24日，发现号航天飞机将哈勃太空望远镜发射升空，进入610千米高的地球轨道，开始了太空观测任务。

哈勃太空望远镜主体结构呈圆柱形，长13米，宽4.27米，总重12.5吨。它的两侧各有一块太阳能电池板，展开后望远镜的最大宽度可达13.7米。哈勃太空望远镜由三大部件系统组成：光学部件、科学仪器、保障系统。



光学部件是一架卡塞格伦式光学望远镜。入射光由 3 米宽的舱门进入，射到直径 2.4 米的主镜上，再反射到在它前面 4.88 米处的副镜上。副镜将光线聚焦后，重新再返回到主镜，从主镜中央小孔穿过到达焦平面。主镜和副镜上各有 24 个和 6 个作动器，用于进行调节，使聚焦光线能到达焦平面。



哈勃太空望远镜上的科学仪器有 5 个，包括广角行星照相机、暗弱天体照相机、暗弱天体摄谱仪、戈达德高分辨率摄谱仪和高速光度计。太空望远镜上还装有精确制导敏感器，它可测出哈勃太空望远镜到目标天体的距离。测量精度是地面望远镜的 10 倍。太空望远镜观测能力大大超过了地面所有的任何光学望远镜和已有的天基望远镜。据估计，哈勃太空望远镜能观测到 27 等星那样微弱亮度的恒星。

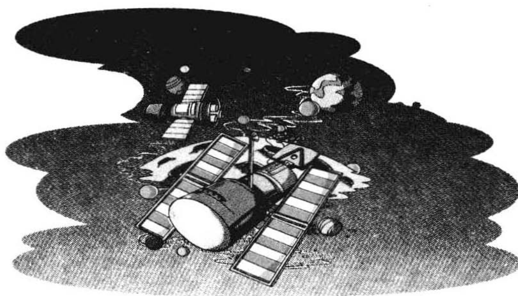
哈勃太空望远镜升空入轨后，地面观测和监视人员对它进行了紧张的校准工作。但就在这个过程中发现了问题。6 月 14 日，技术人员为了使哈勃望远镜的聚焦达到最佳状态，发出指令调整望远镜的副镜。可是无论怎样调整，都无法使聚焦达到最佳。在此后的两个星期内，马歇尔中心和戈达德中心的技术人员全面检查哈勃望远镜的聚焦功能，发现主镜和副镜中可能有一个镜片存在着球面像差的质量问题。此后两年多时间，美国一直

在想办法进行修复哈勃太空望远镜存在的故障，并且千方百计利用它进行一些力所能及的观测活动。

知识链接

哈勃望远镜在投入天文观测后，获得了一些重大发现，令科学家们激动不已。1991年，哈勃望远镜成功地观测到距离地球17万光年的大麦哲伦星云旗鱼座的第三个轮形星云；成功地拍摄了超新星1987A的清晰照片；它重新量度了大麦哲伦星云的距离为169000±5%光年，而在此以前，误差高达±30%以上。1992年初，美国天文学家托德·劳尔在亚特兰大的一次会议上根据哈勃太空望远镜发回的资料，公布了一项十分惊人的大发现：首次在银河系临近M87的星系中央，确认存在一个巨大的黑洞。1992年4月，哈勃望远镜发现了一颗最亮的恒星，其温度比太阳高33倍。1992年5月，它发现宇宙中最古老的星系有新星形成。

哈勃望远镜的四次维修



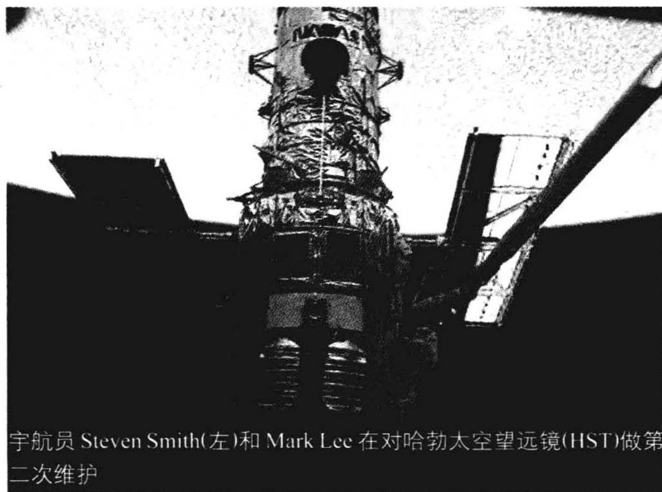
自1990年发射到2006年，哈勃太空望远镜共进行了四次在轨道维修。其中，第一次维修主要是解决望远镜在制造过程中出现的问题。此后，由于长期在轨运行，一些设备或部件出现老化现象，一些设备达到了设计寿命，因此只有经常性维修才能保证它继续完成太空探测的任务。

在哈勃望远镜发射入轨进行初步观测期间，美国宇航局已经制定了详细的修复方案。1993年12月2日，航天飞机奋进号执行STS-61任务时

肩负着修复哈勃望远镜的重任发射升空。宇航员随机带去了280多件专门设计的工具。

1993年12月4日，宇航员操纵15米长的机械臂成功地捕获哈勃望远镜，并将其放入载荷舱内。12月5～9日，宇航员在舱外分两组进行修复。他们完成的主要工作有：更换了3台速率陀螺仪，安装了陀螺仪电子控制装置和8个保险丝，拆除两块太阳能电池板，更换了新的太阳能电池板；更换了哈勃太空望远镜上的宽视场角行星相机，这是修复望远镜最重要的项目之一；更换了两台磁场计。12月8日，宇航员为望远镜安装了美国鲍尔航空航天公司研制的球面像差光学系统“太空望远镜光学矫正替换箱”，它内部装有5个钱币大小的透镜，用于矫正望远镜的视线，使其精确聚焦。另外，为主计算机安装了协处理器和存储器。次日将新安装的太阳能电池板展开，更换了电池板的电子装置。至此修复工作全部完成。

修复后哈勃太空望远镜取得了明显的效果。美国宇航局1994年1月13日提供的消息说，哈勃望远镜传回的清晰图像表明：修复工作取得了极大成功，甚至“超过了预期的目标”。宇航局的专家们说，修复后的哈勃望远镜的分辨率比修复以前提高了50%。



宇航员 Steven Smith(左)和 Mark Lee 在对哈勃太空望远镜(HST)做第二次维护

1997年2月11日～21日，航天飞机发现号在执行STS-82任务时，对哈勃望远镜进行了第二次维修。维修工作包括安装扫描分光仪、近红外照相机及多目标分光仪，更换退化的精密导航传感器；更换了一个数据记录器，安装了一个优化控制的电子增强型工具来提高精密导航传感器的性能；更

换了一个数据接口单元，用一台新式的固态记录器取代了老式的转轮记录器，以便以数字方式存储数据，并且可以同步记录和回访数据；更换了一个太阳能电池驱动的电子仪器盒等。宇航员还维修了破损的隔热层。



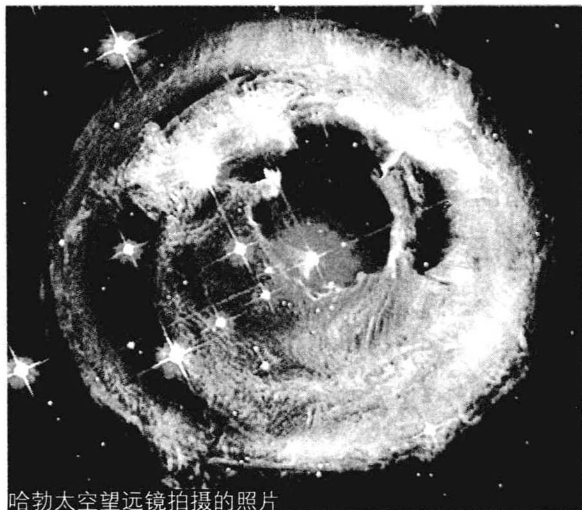
第三次维修是在 1999 年 12 月 19 日至 27 日，航天飞机发现号执行 STS-103 飞行任务时完成的。此次维修规模较小。宇航员在三次舱外活动期间，为哈勃望远镜安装了三个用来瞄准星体的导航传感器，安装一个新的无线电收发机、一具数据记录器和一个用来保护免受太阳热力伤害的护罩。宇航员还在舱外为望远镜更换了所有 6 个陀螺仪，安装了一台 486 计算机，可大大提高哈勃望远镜追踪移动目标的能力和瞄准能力。

第四次维修是在 2002 年 3 月 1 日至 3 月 12 日，哥伦比亚号航天飞机在执行 STS-109 飞行任务时完成的。3 月 4 日宇航员第一次舱外活动，更换了哈勃太空望远镜上的一块太阳能电池板。第二次舱外活动，为望远镜更换了一个新的电源控制设备。经过测试，该系统工作正常。接着，宇航员又为望远镜装上了一个新的观测仪——先进测绘照相机，换下了原有的暗弱天体照相机。先进测绘照相机可使哈勃望远镜看得更深、更远、更清晰。

哈勃望远镜取得的成果

在哈勃太空望远镜经过 1997 年 2 月第二次维修时，它已经整整工作了 7 年。这期间它取得了丰硕的科学成果。全世界 20 多个国家有 2000 多名科学家利用它进行了 11 万多次科学观测，并在分析的基础上撰写了 1346 篇论文。截止到 2006 年，哈勃太空望远镜已经在轨道上运行了 15

年。这 15 年哈勃太空望远镜做了许多激动人心的发现，拍摄了 45 亿张精美的天文照片。人们对它的发现进行了总结，评出了最重大的“十大发现”：


哈勃太空望远镜拍摄的照片

第一：哈勃的主要任务之一就是帮助天文学家测定宇宙的准确年龄。天文学家用哈勃观测到仙女星座和其他星群中的造父变星，以确定宇宙的膨胀速度和宇宙的年龄。现在，哈勃将宇宙的年龄测算精确到 130 亿至 140 亿年之间。

第二：哈勃望远镜在对暗能量的研究工作中扮演了至关重要的角色。哈勃望远镜关于超新星的资料帮助研究者揭示出，这种神秘力量在宇宙中是持续存在的。

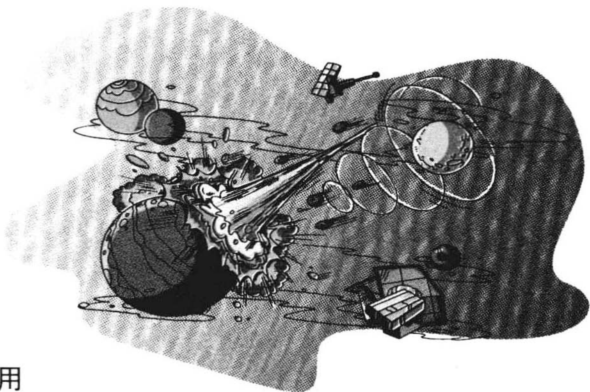
第三：哈勃望远镜完成了对太阳系之外的一颗行星大气层化学构成的直接测量。哈勃望远镜在一颗木星般大小的行星的大气中，发现了钠、氢、碳和氧元素。这个独一无二的观测结果证明，哈勃和其他望远镜可以从其他一些天体的大气中进行化学构成的采样工作。

第四：哈勃给天文学家提供了一些有关早期宇宙的照片。这些遥远的宇宙照片，反映了宇宙诞生之初的景象，为科学家进一步了解宇宙的起源和演变提供了宝贵的资料。

第五：哈勃望远镜拍摄了 M87 椭圆星系的图像。椭圆星系并不具有大多数星系具有的扁圆或是螺旋型的形状。哈勃的观测资料证实大多数星系的中心都具有一个巨大的黑洞。

第六：1999 年 1 月 23 日哈勃望远镜捕捉到了最大一次伽马射线爆炸的景象。哈勃拍摄到的图像显示，这些放射线的短暂闪光来自于遥远的星系，

这些星系以非常快的速度形成众多恒星。此外，图像还确定了这些爆炸来源于一些巨大星体的瓦解。



第七：类星体是20世纪60年代的天文大发现之一。天文学家使用哈勃望远镜追踪到这些类星体的“家”(宿主星系)，并且证明它们位于这些星系的中心区域。

第八：哈勃望远镜拍摄到了猎户星云中的原行星盘，这些资料显示证明，烤盘形状的尘埃盘围绕着年轻恒星的现象是很平常的。

第九：哈勃望远镜拍摄到1994年7月苏梅克·列维9号的彗星断裂成21个碎块撞击木星的情景，撞击产生的蘑菇形的火球冲击到了木星的上空。

第十：哈勃望远镜拍摄到的一组跳跃的颜色中烁烁发光的行星状星云向人们描绘出垂死恒星的最后色彩。行星状星云实际上是一些即将消亡的恒星抛射出的气体外壳。哈勃拍到的图像显示，行星状星云就像雪花一样，没有任何两个是一样的。

哈勃太空望远镜虽然经过四次维修，但毕竟已经达到了寿命的极限，一些设备也已失效或损坏。对于该望远镜的去留问题，近年美国宇航界和天文学界争论不断。有人主张结束它的使命，有人主张继续对其进行维修。经过多方评估，2006年10月31日，美国宇航局局长格里芬宣布：2008年将对哈勃太空望远镜进行第五次，也是最后一次维修。据估计，经过此次维修，哈勃望远镜可继续使用到2013年。

28 全数字化研制的波音777客机面世

在传统产品设计中，是离不开图纸的。飞机研制更是如此，一架客机的图纸可多达几万张，需要数万人辛辛苦苦地描图，时间和人力成本巨大。美国波音公司研制的波音777是第一架全数字化研制的大型客机。全数字化设计使飞机设计制造发生了革命性变化。

波音777研制简况



波音777-300型民航飞机

早在1986年，波音公司就对民航运输市场进行了深入研究，认识到繁忙的中短程航线上需要一种运载能力大、经济性好的飞机，它的载客量介于波音767-300和波音747-400之间。1989年12月8日，波音公司董事会经过讨论，批准研制一种新飞机，当时初步定名为波音767-X，后改名为波音777。在向世界范围内航空公司宣传展示这种新飞机后，1990年10月29日，美国联合航空公司首先订购了34架波音777客机，同时还意向性订货34架，要求波音公司在1995年5月前交付第一架。从波音公司批准研制到第一架飞机交付，时间仅有5年时间，这对于一种全新研制的大型飞机来说时间是异常紧迫的。

1991年5月21日，波音公司和日本的三菱公司、富士重工等几家公司签订协议，共同研制波音777飞机。同年，为了建造这种大型飞机，波音公司位于华盛顿州西雅图市埃弗里特的工厂进行了扩建，用于波音777飞机的最后总装。

1994年4月19日，波音公司举行了盛大的波音777出厂仪式，为此波音公司邀请了世界各地的客户代表、分包商代表和政府官员出席这个仪式，连同波音公司的雇员在内参加的人共计10万人之多。

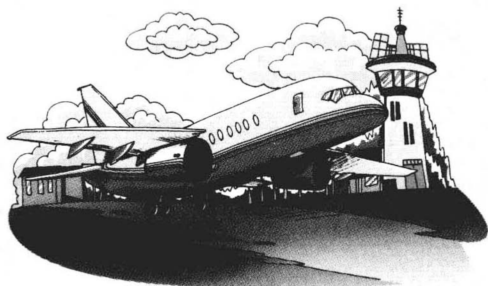


1994年6月12日，波音777首次升空飞行取得圆满成功。该架飞机安装了美国普惠公司的4080涡扇发动机。它在空中飞行了3小时48分钟，它达到的飞行高度为6000米，在空中进行了发动机关机和重新点火试验。当天的飞行达到了预期的目标。此后，波音777开始了为期11个月、投入9架飞机大约飞行7000小时的研制试飞。1994年10月28日，第四架波音777投入飞行试验，该机主要用于长途适应性飞行试验；1995年2月2日，第六架波音777投入试飞，飞行时间持续4小时20分。

在为期一年的试飞过程中，除检验波音777的飞行性能外，还广泛考察了波音777的经济性、维护性、环境适应性等对于商业飞行来说非常重要的性能。一架波音777还进行了环球飞行，从美洲、欧洲、亚洲再返回美国西雅图。1995年4月19日，波音777同时获得了美国联邦航空局和欧洲联合航空适航局颁发的产品设计适航证，以及美国联邦航空局颁的产品生产许可证。

1995年5月15日，第一架波音777客机交付美国联合航空公司。6月7日，该公司首先将这架飞机投入到华盛顿到英国伦敦的航线上。1995年5月26日，安装英国罗尔斯·罗伊斯公司的三叉戟8000型发动机的第14架波音777开始试飞。至此，波音777已经安装试飞过了世界三大动力——普惠、通用、罗尔斯·罗伊斯的涡扇发动机。此后，波音777开始陆

续交付各航空公司，在一年时间内共交付了25 架。该机投入航线后，得到各大航空公司的欢迎。到2000年10月，它的订货量就达到了500架。



此后，波音777又陆续推出了777-200型、777-200ER增程型、777-200LR远程型、777-300型、777-300ER增程型和777F货运型等六种型别。截至2006年12月18日，各型波音777已经交付了600架。

知识链接

波音777-300型的典型技术与性能参数如下：翼展60.9米，机长73.9米，机高18.5米，机身直径6.19米，内部座舱宽度5.86米。它的空机重量160.12吨，最大起飞重量为297.56吨，起飞距离3353米，着陆距离1860米。可携带燃油17.116万升，最大商务载重54.66吨，最大航程11029千米。该机最大巡航马赫数0.89，经济巡航马赫数0.84。

发动机可选用三种不同的型号，普惠公司的4098型涡扇发动机，推力44.49吨；罗罗公司的三叉戟892涡扇发动机，推力40.86吨；通用电气公司的90-94B，推力42.54吨。

载客量根据不同的座舱布置有所不同。典型的三级客舱布局可装载368名乘客；典型的二级客舱布局可装载451名乘客；全经济型布局最多可装载550名乘客。

波音777全数字研制过程

波音777在设计方法上推动了一次革命，它是第一架100%数字化设计和在计算机显示屏上进行“预装配”和“飞行试验”的飞机。该机在研制时，

采用了以下全新的技术，包括全数字化设计、全数字化预装配、并行工程生产等先进的技术。

(1) 数字化设计

波音 777 客机在设计时，采用了一种 CATIA（计算机辅助三维交互应用）计算机辅助设计 (CAD) 软件系统，这是一种由法国达索系统公司开发，由IBM公司经销的数字系统，自 1987 年以来，已经为 747-400 飞机设计了一些新部件。根据波音 777 计划的要求，达索公司不断更新版本，在该计划中已开发了CATIA 的 A4.0 版本，较以前版本有很大改进。为开展全数字化设计，波音公司在华盛顿州的主运算基地动用了近 2200 台安装CATIA软件的IBMRISC6000 工作站，与 8 台主机配套，成为世界最大的主机设备。波音公司要求所有协作单位都使用CATIA 工作站，或者把零部件图像转换变成 CATIA 图形传送入波音的网络。60 个国家的部件供应商也通过工作站传来产品图像，而不必直接送来产品。


波音 777

波音 777 1990 年 10 月开始到 1994 年 6 月，仅用了 3 年 8 个月就试飞成功，周期缩短的主要原因是在设计之初，下游产品设计工作基本上同时起步，并行进行，在正式生产硬件之前就在计算机环境下进行 100%的数字化预装配，把设计更改、错误、返工和报废减少了 50%，减少了过去的大量时间浪费，更早投入市场，提高了产品的竞争力。波音 777 只有 4000 名工程师，通过 1700 个终端进行 100%的数字化设计，人力、时间和资金成本大大降低。

(2) 数字化预装配

波音 777 的零件总数在 300 万件以上，约 132500 种需要在 CATIA 系



统上专门设计，费用是非常昂贵的。尽管如此，波音公司仍使用这一系统进行设计、模拟装配，直到飞行试验，这是因为它有无可比拟的优点。达索公司开发的这套 CAD/CAM 软件系统使设计师可以用三维图像设计零件，并在计算机上模拟装配和试飞。CATIA 系统可使设计师在工作站的显示屏上看到设计的彩色三维图像，做出数字定义的设计，远比二维的手绘图纸精确得多。每个零件部件可从任何一个透视角度进行研究，也可以很容易地截取任何一个断面。

电子装配使设计师很容易发现和改正零件配合不协调和互相干扰的问题，大大降低了改正错误和返工需要的费用和时间。过去使用传统的设计制造方式，必须制造昂贵的全尺寸飞机模型，如果发现模型存在的问题又要花费大量的时间和金钱去重新设计和加工。利用 CATIA 系统进行飞机数字化预装配，就不必要制造全尺寸模型。

由于设计全部采用三维实体模型，极其精确，通过数字化预总装，协调配合非常好，最后全机质量有很大提高。在实物总装后，用激光测量偏差，飞机全长 63.7 米，从机舱前端到后端 50 多米，最大偏差仅为 0.9 毫米。一次试飞成功也说明其研制质量之高。

(3) 并行工程生产方式

波音公司率先将“并行工程”理念用于波音 777 的研制过程。该公司利用 CATIA 系统的优势，组建了“设计制造协同组”(DBT)。这些组由开发过程中各部门的人员组成，包括设计、制造、驾驶、采购、用户和其他方面的专家，集中在一起同时工作，汇集他们的专业知识协商解决问题，而不是像以


波音777座舱内部

前那样分专业按顺序各自单独工作。

“设计制造协同组”把工程、计划、工具、生产工艺、材料、质量保证、财务、用户支持等方面组织在一起，共同搞出一个产生定义（即设计数据集），把过去的串行研制流程变成并行研制流程，强调协同工作。在实际操作过程中，按飞机大部段把设计和生产完全结合在一起，组成“设计、生产协同组”。在1991年和1992年波音777设计工作高峰期，最多时整个研制过程有238个协同组。

波音777的其他设计特点

波音777的研制充分吸收了用户——航空公司的意见。它第一次吸收了客户和航空公司参加设计组，各航空公司针对该型飞机提出了1000项建议，总共有14个国家约12000人参加了波音777的设计。对航空公司的要求，波音做到有求必应，从折叠式机翼，到液压式马桶和厕所内备有婴儿换尿布的桌子。

数字化设计与制造以及采用并行工程思想，使以客户为导向成为可能。过去是一个型号取得适航证后就原封不动地大量生产，现在是一个型号可以有大量的改型和局部调整，以满足用户的不同需要，而这些更改几乎不花多少成本和时间。而以往采用图纸研制模式，设计更改、产品更改、装配更改和返工现象会极大地增加了研制成本并花费很多时间。

在技术上，波音777也有许多重大改进。它在结构上的最大的特点是采纳客户的意见设计应用了折叠式机翼，这种机翼曾在小型军用机上使用了很多年，但在大型飞机上还是首次。由于不得不采用最佳翼展60.9米，为适应机场和停机位的要求，波音777采用铰接方式将机翼折叠起来，

翼尖的 6.8 米可以折叠，这样在地面长度可减少到 47.3 米。

波音 777 还采用三轴电传操纵系统，减轻了重量，减少了零件部件数量，缩短了维修时间。驾驶舱内由 6 个彩色计算机显示屏替代了以前的 300 多只仪表，并装有自我诊断系统，安装最先进的防撞系统和GPS定位系统，导航误差不超过 1 米。

在材料方面，波音 777 采用了许多低价格、高强度和轻重量的新材料，如 7055 号新型铝合金，具有耐高压、抗疲劳、抗腐蚀等特点，主要用于蒙皮和桁条，可减轻重量。它还更多地采用了复合材料，用于垂直尾翼、水平尾翼、地板梁、整波罩等。以往波音飞机复合材料用量仅占结构重量的 3%，而波音 777 则达到了结构重量的 9%。



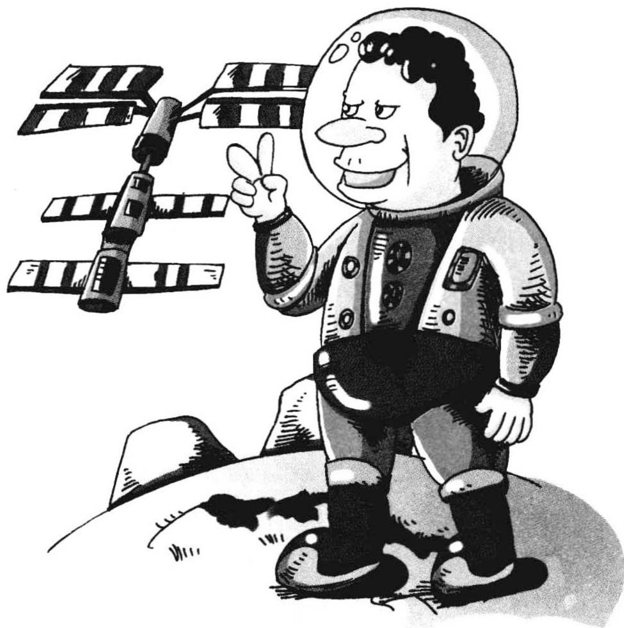
采用数字化研制和并行工程，使波音 777 的研制时间大大缩短，比波音 757/767 的 9 年～10 年研制周期缩短了一半，用户交货期也由 18 个月缩短到 12 个月，产品废品率降低了 98%，从而降低了飞机成本。通过采用先进的气动设计并安装超高涵道比涡扇发动机，使其运营成本也大大下降。波音 777 的运输能力相当于波音 747 的早期型号，但油耗却降低了 33%，维修成本降低了 40%。

29 国际空间站开始建设

国际空间站是一项国际合作建设的大型空间站，它是由美国的自由号空间站演变而来。1998年，国际空间站建设工作拉开了序幕。目前，该空间站的建设还在进行，但其科学研究与探测活动已经开始。

国际空间站建设计划

美国在20世纪70年代初期研制、发射与运行的天空实验室虽然属于试验性空间站，但取得的成果却相当振奋人心。在航天飞机研制成功后，发展大型空间站便成为宇航局重点目标。经过反复研究与论证，美国提出了规模庞大的自由号永久空间站计划，1984年美国政府批准了这个计划。但由于该空间站耗资实在太大，所以国会不断有人提出反对意见。进入90年代，自由号空间站计划更是风雨飘摇，不得已只好缩小规模，同时寻求国际合作。

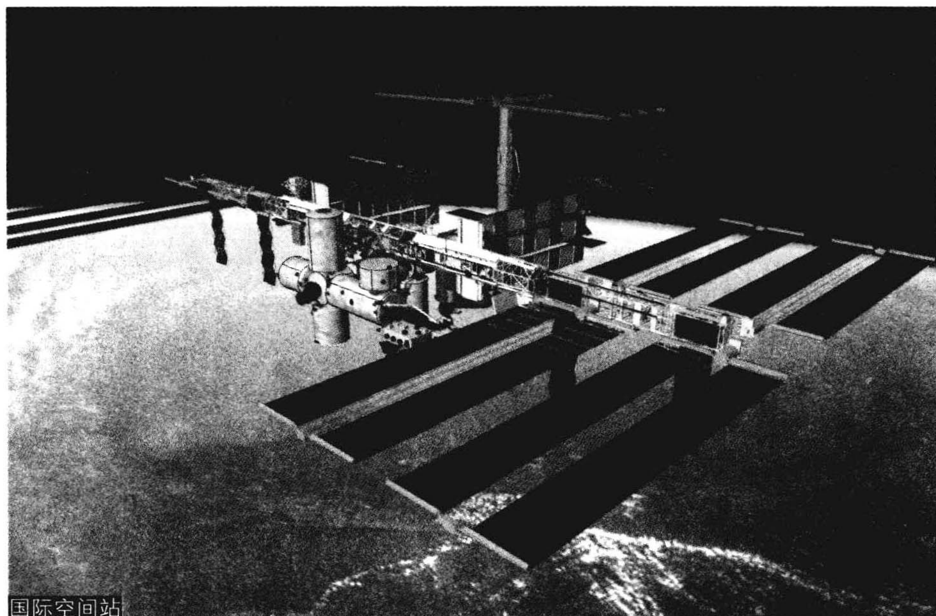


早在1982年，美国宇航局就开始与欧洲空间局讨论合作研制空间站的可能。当时双方成立了各自的小组。当年6月达成了一个协议，将共同进行两个与空间站有关的研究。一个是美国载人空间站的欧洲应用计划研究，一个是欧洲所需要的空间

站结构和应用潜力，显然后者包含了欧洲将参加的空间站硬件研制。

1985 年 1 月召开的欧洲空间局首次部长级会议，讨论了欧洲航天计划的发展规模、资金增长、大型计划、国际合作等重大问题。欧洲在自己的航天政策与航天计划上各国尚难达成一致，与美国的合作也更加难以统一。

1987 年 11 月 17 日欧洲空间局召开的会议统一了口径，并向里根总统提出了作为“最低限度”的、美国应同意下述四项条件：1. 和平地利用空间站；2.属于欧洲空间局的范围则完全由欧洲空间局负责；3.建立解决争端的制度；4.建立适用的法律机构。


国际空间站

1988 年 7 月，美国与加拿大、欧洲空间局和日本的国际空间站谈判终于结束。最终谈判结果是：美国将提供空间站的总构架和工作分系统，包括生命保障系统、75 千瓦电能供应、实验舱和生活舱，还提供一个不载人极轨平台。加拿大将制造一个移动服务系统，用于空间站各分系统的组装、维修和服务。日本将提供一个长期同空间站连接在一起的增压实验舱。欧洲空间局提供一个增压实验舱、一个不载人极轨平台和一个载人的共轨平台。美国发展空间站硬件的费用约为 160 亿美元，欧洲空间局承担 42 亿美

元，日本承担 20 亿美元，加拿大承担 10 亿美元。1988 年 9 月 29 日，四方代表再度签署有关空间站的协议。

5 年后即 1993 年 12 月，最初的空间站参加国决定，在前苏联解体和冷战结束后，应当邀请俄罗斯参加。这样又开始了 4 年艰苦的国际谈判。新的协议于 1998 年 1 月 29 日签署，后由各自的国家批准。

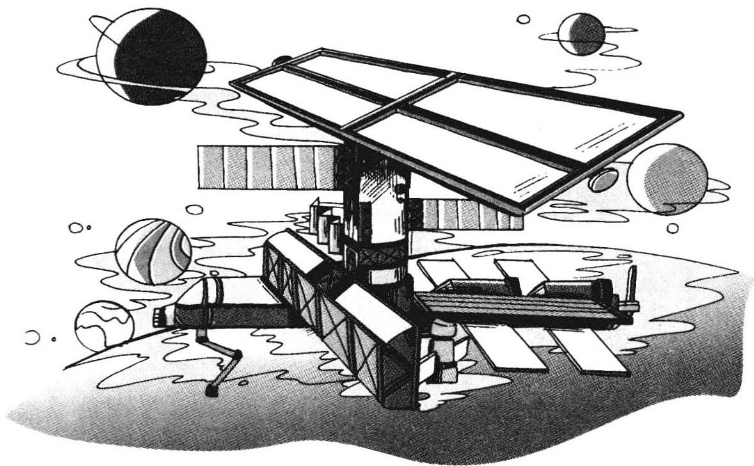
1992 年 6 月 17 日，美俄双方签署了以和平目的开发与利用外层空间的合作协议。同年 10 月 5 日，两国又签署了美国宇航局与俄罗斯航天局关于载人航天飞行合作的协议，在 1993 年和 1997 年又多次签署谅解备忘录。

1994 年 6 月 23 日，美国宇航局和俄罗斯航天局联合签署了关于俄罗斯参加永久性空间站的详细设计、开发、操作与使用的协议。这些工作，尤其是美国航天飞机参加和平号空间站的合作计划，为国际空间站合作计划打下了基础。

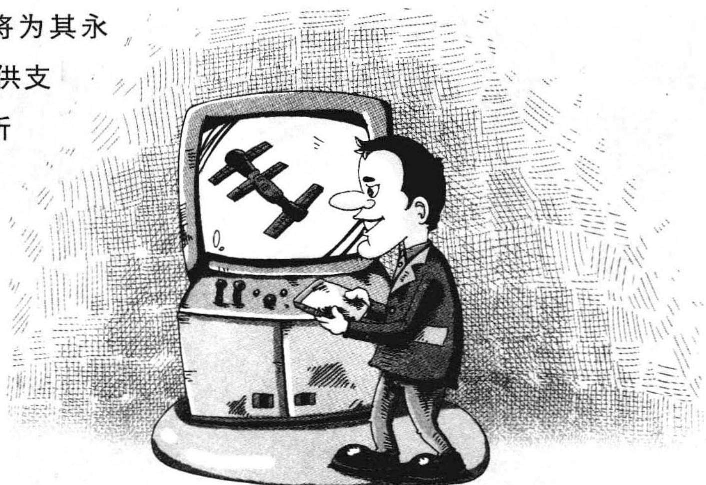
国际空间站的组成

美国与欧洲空间局成员国、加拿大、日本和俄罗斯签署的国际空间站合作协议以及双边谅解备忘录谈了国际空间站的组成和基本功能。

国际空间站是永久性、载人、多用途低轨道空间设施，所有的参加国



家都将为空间站提供技术支持，空间站地面系统将为其永久、可靠的运行提供支援。空间站将为所有的用户提供发挥人类智慧、开发与利用太空的机会。它可以提供独特的微重力环境、近真空环境和对地观测的条件。空间站和它提供的条件还能够具备各种功能，包括研究、试验、维护、贮存、服务、补给、观测等等。



国际空间站总体设计采用桁架挂舱式结构，即以桁架为基本结构，增压舱和其他各种服务设施挂靠在桁架上，形成桁架挂舱式空间站。大体上看，国际空间站可视为由两大部分立体交叉组合而成：一部分是以俄罗斯的多功能舱为基础，通过对接舱段及节点舱，与俄罗斯服务舱、实验舱、生命保障舱、美国实验舱、日本实验舱、欧洲空间局的哥伦布轨道设施等对接，形成空间站的核心部分；另一部分是在美国的桁架结构上，装有加拿大的遥控操作机械臂服务系统和空间站舱外设备，在桁架的两端安装4对大型太阳能电池帆板。这两大部分垂直交叉构成“龙骨架”，不仅加强了空间站的刚度，而且有利于各分系统和科学实验设备、仪器工作性能的正常发挥，有利于宇航员出舱装配与维修等。

两大结构呈十字状“搭”在一起而形成。其中，纵向的主干主要是一些像积木一样拼接在一起的舱体，总长度约为80米。而由总共9根“横梁”连接而成的长长桁架，将以90°角“架”在纵向主干上，这一横向桁架的翼展将达到108米。在纵向的各舱体上，还会在不同方向衍生出其他一些结构；而

横向的桁架两端，最终也将挂起巨大的太阳能电池板、散热器等装置；另外，携带着机械臂的小车，将来也可以在横贯桁架的轨道上来回滑动。



国际空间站内宇航员活动

国际空间站的各种部件是由合作各国分别研制，其中美国和俄罗斯提供的部件最多，其次是欧洲空间局、日本、加拿大和意大利。这些部件中核心的部件包括多功能舱、服务舱、实验舱和遥控操作机械臂等。俄罗斯研制的多功能舱(FGB)具有推进、导航、通信、发电、防热、居住、储存燃料和对接等多种功能，在国际空间站的初期装配过程中提供电力、轨道高度控制及计算机指令；在国际空间站运行期间，可提供轨道机动能力和储存推进剂。俄罗斯服务舱作为国际空间站组装期间的控制中心，用于整个国际空间站的姿态控制和再推进；它带有卫生间、睡袋、冰箱等生命保障设施，可容纳3名宇航员居住；它还带有一对太阳能电池板，可向俄罗斯部件提供电源。实验舱是国际空间站进行科学研究的主要场所，包括美国的实验舱和离心机舱、俄罗斯的实验舱、欧洲空间局的哥伦布轨道设施和日本实验舱。舱内的实验设备和仪器大部分都是放在国际标准机柜

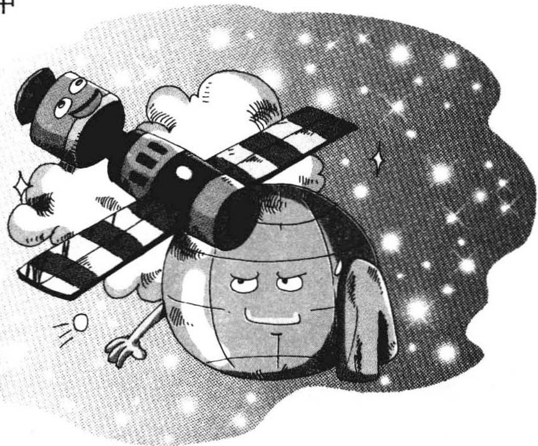
内，以便于维护和更换。

最终建成的国际空间站将包括6个实验舱、1个居住舱、3个节点舱以及平衡系统、供电系统、服务系统和运输系统，总重量约为500吨。实验舱包括：美国1个、欧洲空间局1个、日本1个、俄罗斯3个（提供科研机柜）；在美、日、欧的实验舱中，共有33个国际空间站有效载荷标准机架，其中美国实验舱内有13个，日本舱内有10个，欧洲空间局舱内有10个。居住舱容积为1200立方米，内有洗手间、卧室、厨房和医务设备。

建造与初期运行

1998年11月20日，俄罗斯在拜科努尔航天发射场用一枚质子号重型运载火箭，成功地把国际空间站的第一个组件曙光舱送上了太空。曙光号首先被送入一条354千米×185千米、倾角51.6°的初始轨道。入轨后，它的天线和太阳能帆板即正常展开。12月4日，美国奋进号航天飞机又把节点舱团结号送入轨道，并对接到曙光舱上。宇航员于12月10日首次进入新站，在站内安放了通讯设备和备用服装等器材。1999年5月27日，航天飞机发现号执行STS-96任务，为空间站输送2吨补给品。5月29日，发现号与国际空间站顺利对接，为空间站运去了电脑、工具、衣服和饮用水等物资。

2000年5月21日，亚特兰蒂斯号航天飞机与国际空间站实现对接，为空间站送去约1吨重的货物，其中包括曙光舱上使用的蓄电池。2000年7月12日，俄罗斯成功发射了国际空间站服务舱星辰号，并与空间站联合体顺利对接。该舱使空间站能够接待长期宇航考察组，加快了整个工程的建设。



这个舱段是空间站的重要组件，是一个生活起居室，为宇航员提供了居住舱、电力控制和生命保障系统，并为进步号货运飞船提供对接口，为空间站提供姿态控制推进。2000年9月8日上午8时航天飞机亚特兰蒂斯号发射，10日下午1时与空间站对接，为空间站带去3吨补给品，以便为国际空间站迎来第一批“居民”做好后勤准备。



2000年10月31日，美俄3名宇航员搭乘联盟TM-31号飞船从拜科努尔航天发射场升空，飞向国际空间站。他们将成为国际空间站的首批长期住户。参加这次飞行的宇航员分别是美国宇航员威廉·谢泼德，俄罗斯宇航员尤里·吉德津科和谢尔盖·克里卡廖夫。11月2日，他们正式进驻国际空间站，标志着国际空间站开始进入有人照料阶段。2000年12月，航天飞机奋进号执行STS-97任务，为空间站安装了大型太阳能电池板。

2001年2月14日，航天飞机亚特兰蒂斯号执行STS-98任务，进行了一次太空营救演习的假设预演。其间，两名宇航员为国际空间站安装了几件设备，包括一个座价值14亿美元的实验舱。2001年3月8日，航天飞机发现号执行STS-102任务，运送安装了命运号实验室，意大利制造的列奥纳多号多功能服务舱，安装5吨仪器设备。3月9日航天飞机与空间站对接后，第二批宇航员正式进驻国际空间站。

2001年4月19日，奋进号执行STS-103任务，这次航天飞机飞行的主

要任务是为空间站安装一个加拿大研制的机械臂。对接后，奋进号宇航员与国际空间站上的第二批长住居民将先利用空间站外的一个太空舱交换工具和其他物资。2001 年 4 月 28 日，俄罗斯联盟号飞船发射，上面载有第一位太空游客蒂托。他被称做航天史上第一位真正的太空游客，产生了极大的影响。他在空间站上停留了 8 天后，于 5 月 5 日返回地面。

2001 年到 2004 年，空间站的部件发射、组装，以及常驻宇航员的轮换一直在进行。不过由于种种原因，包括美国航天飞机哥伦比亚号的失事，使得预期的进度不断放慢。航天飞机恢复飞行后，建造工作得以继续。截至 2006 年 6 月初，国际空间站的状态如下：

美国航天飞机共计飞行了 18 次，俄罗斯火箭与飞船发射了 37 次。空间站总长度 44.5 米，总高度 27.5 米，总宽度 73 米，总质量 186 吨，居住舱容积 425 立方米，太阳能电池板面积 892 平方米。共接待了 14 个长驻机组。参加国际空间站建造与科学研究活动的宇航员和科学家共计 116 人，他们来自 10 个国家。

国际空间站运行在近地点 379.7 千米、远地点 403.8 千米的轨道上，绕地一圈用 90 分钟。该站建成后，届时它将由 12 个舱段组成，总质量达 450 吨左右，使用空间达 1100 立方米，平均运行高度为 350 千米（组装后升至 460 千米高的轨道），寿命 15 年。它将用于试验新型能源、运输技术、自动化技术和下一代遥感器，推动流体力学、燃烧学、生命保障系统、反辐射危害等研究的发展，并对未来的太空探索产生重要影响。各国在国际空间站的建设和开发上的总支出约为 1140 亿美元。

知识链接

在空间站初步运行期间，计划先后派 51 名宇航员进行 17 次长期考察。预计国际空间站将于 2010 年最终建成。在未来几年内，总共将有 45 个长期机组到站上生活和工作。国际空间站将成为夜空中最亮的物体之一，是名副其实的宇宙明星。

30 中国神舟号飞船首次飞行

载人航天具有巨大的政治、军事、科技、文化和潜在的经济价值，中国航天人也早在 20 世纪 60 年代就开始了载人航天的探索和规划。20 世纪 90 年代初，中国政府正式做出载人航天发展规划。1999 年，中国发射成功神舟一号不载人飞船，揭开中国航天新纪元。

中国载人航天计划的制定

美国航天飞机研制成功，在世界范围内引起强烈的反响。一时间，许多国家包括法、英、德、日，甚至印度都在积极探讨研制航天飞机甚至空天飞机问题。在这一热潮的触动下，中国的航空航天界也在研究、规划新时期航天发展问题。专家学者们开展了大量先驱性研究工作，这些工作为中国航天技术的发展指出了大致的方向。

“863” 计划航天领域专家组进行的载人航天研究属于规划性和概念性的，它为中国载人航天发展提出了一个总体蓝图，并非工程研制项目。至于载人飞船的构形是什么样？工程怎么搞？这些是 “863” 载人航天技术论证过程中所没有解决的问题。

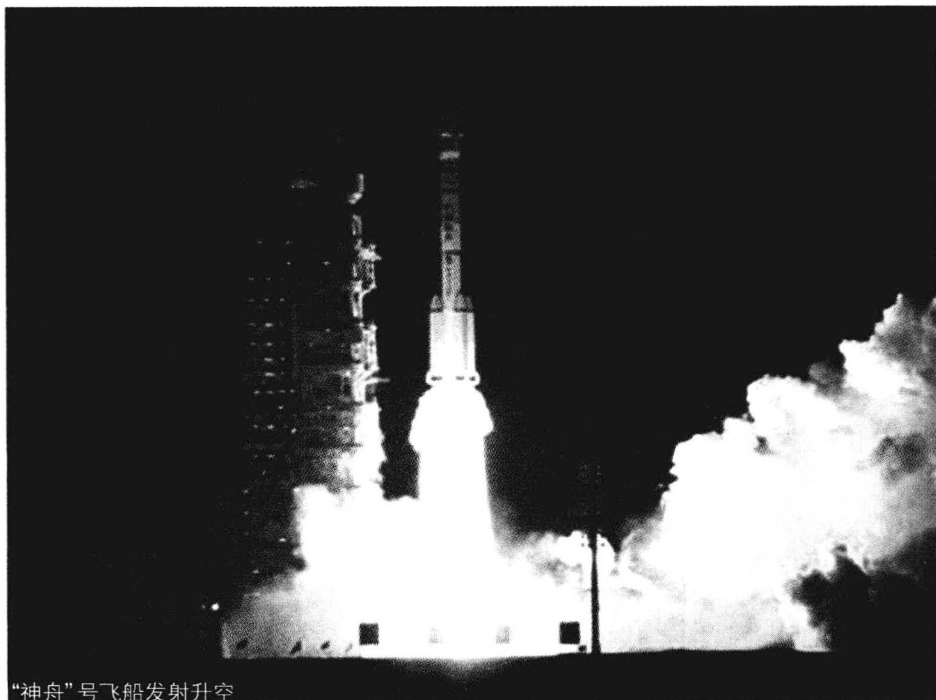
中国空间技术研究院的载人飞船研究可分为三个阶段。从 1986 年开始至 1993 年底完成了三个阶段的研究工作。第一阶段（1986 年 4 月～1991 年 12 月）为多用途飞船概念研究阶段，提出载人（飞船）航天工程总体方案及飞船与发展小型航天飞机的比较性研究。第二阶段（1992 年 1 月～1992 年 9 月）为载人飞船系统技术经济可行性论证阶段。第三阶段（1992 年 10 月～1993 年 12 月）为载人飞船系统方案论证阶段，完成载人飞船总体和各分系统的方案论证工作，提出论证报告和载人飞船各分系统的方案设计要求。

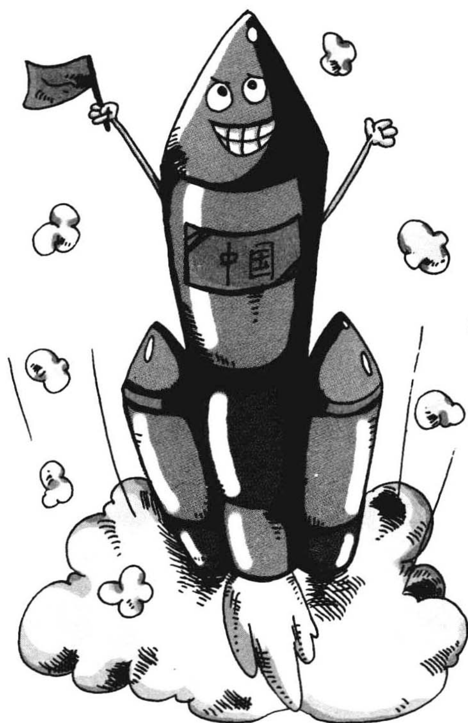
1991 年 6 月，中央听取了航天领域专家委员会《关于发展中国载人航天的意见》和国防科工委《关于发展中国载人航天及其应用的意见》的汇

报。会议倾向于同意专家委员会关于发展中国载人航天的目标设想，要求对发展中国载人航天的目的性做出进一步的详细的说明。航空航天工业部和国防科工委又对三个论证组提出进一步要求，继续开展载人飞船工程方案论证工作。1991 年 12 月 31 日前，三个单位的论证结果先后上报航空航天工业部。

1992 年 1 月 8 日，中央再次听取了航天领域专家委员会《关于发展中国载人航天的意义与作用的意见》和国防科工委《关于组织载人航天工程可行性论证的意见》的汇报。会议认为，从政治、经济、科技、军事等诸方面考虑，发展中国载人航天是必要的。并决定由国防科工委负责，组织进行载人飞船工程的技术、经济可行性论证。

1992 年 1 月～6 月，根据国防科工委通知精神和航空航天部党组委托，中国空间技术研究院对载人飞船进行了长达半年的可行性论证。1992 年 6 月，该院撰写出《载人飞船技术经济可行性论证报告》，并以白皮书的形式上报。该报告被 1992 年 6 月 25 日～30 日召开的工程可行性方案评审会通过。


“神舟”号飞船发射升空



1992年9月21日，江泽民同志主持召开中央政治局扩大会议，听取了论证报告和技术方案、经费估算和组织实施办法的汇报。经讨论，一致同意中央专委第七次会议的意见，批准中国载人航天工程开始实施。由于中央专委批准中国载人航天工程的日期是1992年1月，中共中央政治局扩大会议批准中国载人航天工程日期又是当年的9月21日，所以中国载人航天工程便被命名为921工程。

1992年11月，空间技术研究院建立了载人飞船系统两师系统，戚发轫任总设计师，汪国林任首任行政总指挥（1995年8月改由戚发轫担任）。同时该院501部成立了载人飞船总体设计室，负责载人飞船系统总体设计工作。

921工程是中国载人航天大系统的总称。除了神舟号飞船外，还包括宇航员系统、有效载荷系统、运载火箭系统、陆地发射系统、测控系统和返回着陆系统，共计七大系统。

载人航天工程的实施

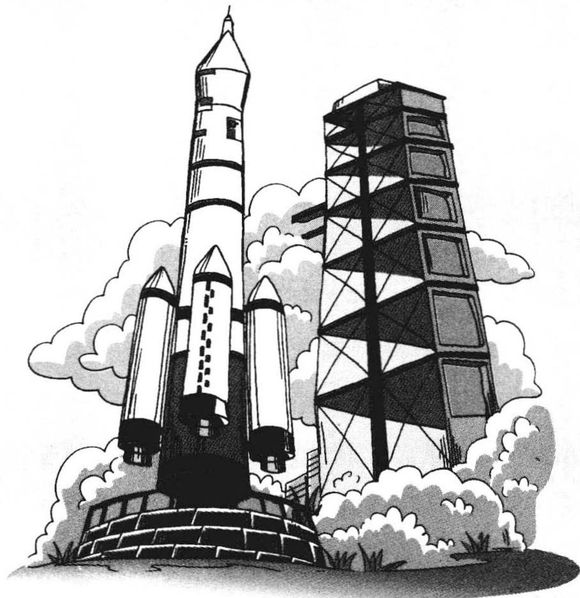
1993年4月，载人飞船系统方案论证工作开始。同年12月，完成了载人飞船系统的方案论证工作。在论证中，确定载人飞船有“飞船的标准状态”（作为天地往返运输的状态）等3种技术状态，并对每种状态进行了

分析和设计，载人飞船系统所属的 13 个分系统也完成了各自的方案论证。1994 年，载人飞船被命名为神舟号。同年 1 月，神舟号载人飞船开始进行方案设计。1994 年 7 月，飞船转入初样研制阶段。

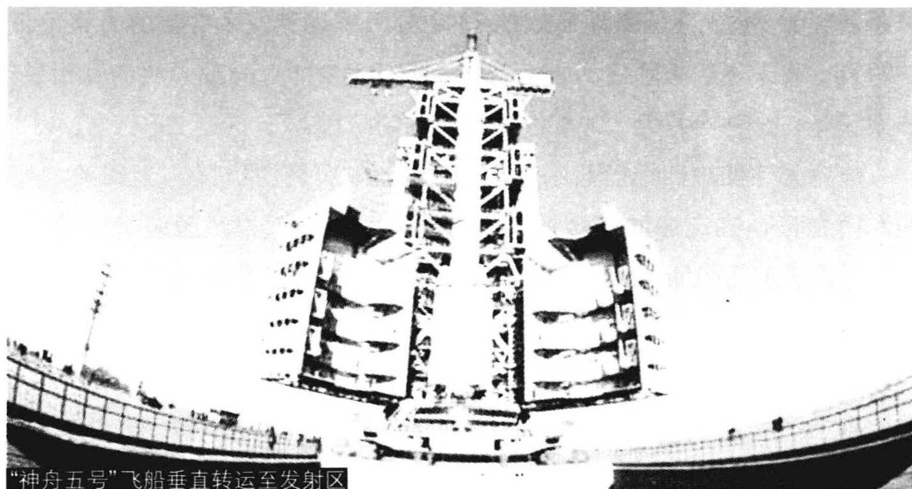
神舟号飞船由四个舱段组成，从下往上依次是：推进舱、返回舱、轨道舱和附加段。在飞船的顶端还有一个逃逸救生塔。推进舱装有火箭发动机，主要用于飞船的轨道控制，特别是飞船完成任务后进入返回轨道的制动。返回舱是飞船发射入轨和返回期间宇航员乘坐的舱段。它是飞船唯一回收的部分。在它的顶端还有一个伞舱，装有引导伞、减速伞和主伞。为了使返回舱在大气层中有效减速，主伞的面积高达 1200 平方米。轨道舱可装各种科学实验仪器，在运行期间宇航员可在这个舱段完成预定的科学实验任务。附加段实际上就是交会对接系统，用于将来与空间站交会对接。

在神舟号飞船的顶端有一个类似于小火箭的装置，这就是逃逸救生塔。它的用途是当火箭在点火后不久出现故障时，将飞船急速弹出，脱离危险的火箭。与主体火箭相比，逃逸救生塔小巧玲珑，但组成非常复杂，技术要求也相当高。在逃逸塔的周围安装有 10 台固体发动机，从上至下依次为控制发动机、分离发动机、主逃逸发动机和高空逃逸发动机。

发展载人航天需要解决大量的技术难题，其中最重要的有三个：推力大、可靠性高的运载火箭；安全返回技术和飞船生命保障系统。这三大难题与飞船有关的就有两个。



在安全返回问题上，早在 20 多年前，中国就掌握了返回式卫星的回收技术。返回式卫星取


“神舟五号”飞船垂直转运至发射区

得的成就，表明中国在再入防热技术、姿态控制技术、返回轨道设计等方面，都达到了相当高的水平。

在飞船生命保障系统上，中国在吸收、借鉴国外成功经验的基础上，充分地进行了各种地面模拟和太空动物试验，最大限度地使用已掌握的成熟技术，并通过不载人试验检验。

发射神舟号飞船的长征二号F火箭是专门为载人飞船发射的要求而在长征二号E基础上研制的，是中国第一种高可靠、高安全、高质量的载人飞船发射工具。长征二号F运载火箭的可靠性达到了世界最高标准。元器件的可靠性从90%提高到99%，而且还进行290多次反复试验，其中不能出现任何一次故障。

作为中国载人航天工程的主要分系统之一，长征二号F的研制始于1992年。它在长征二号E运载火箭基础上增加了2个新系统，即逃逸系统和故障检测处理系统。火箭全长58.343米，起飞质量479.8吨，起飞推力5923.2千牛(604.4吨)，芯级直径3.35米，助推器直径2.25米，整流罩最大直径3.8米。火箭的芯级和助推器发动机均使用四氧化二氮和偏二甲肼作为推进剂。它的近地轨道运载能力为8吨。

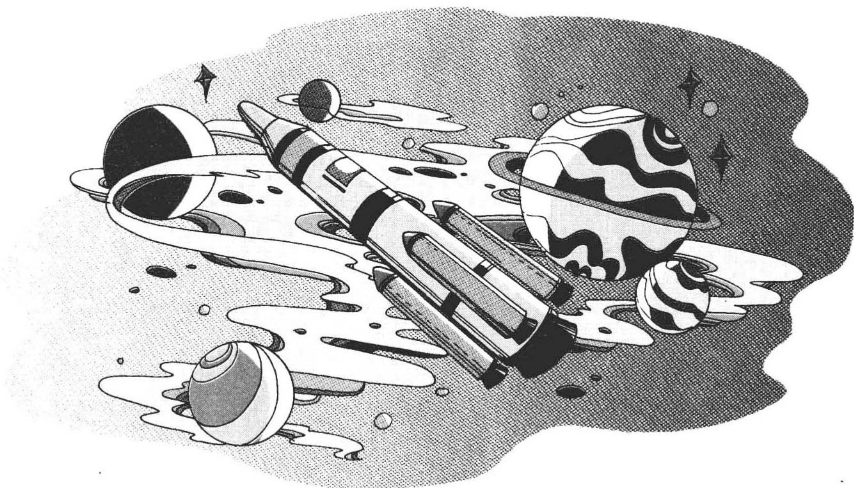
神舟一号飞船首次发射

1999年11月20日凌晨，在甘肃酒泉航天发射基地，新建的高达百米的载人发射塔架陆续打开，长征二号F运载火箭和神舟一号试验飞船脱离了束缚。6时30分，随着“点火”口令的下达，火箭底部喷出交织在一起的橘红色火焰，在巨大推力作用下，火箭和飞船徐徐飞离发射台。随着时间的推移，火箭的速度不断加快，呼啸着直冲云霄。飞行约10分钟后，神舟一号与火箭第二级分离，并准确进入预定轨道。飞船在轨道上飞行了14圈、21小时后，返回舱于12月21日3时41分在内蒙古中部成功实现软着陆。中国第一艘宇宙飞船不载人发射试验获得成功，揭开了中国航天史的新篇章。

此次发射的神舟一号飞船，只是一艘工程试验飞船，与真正的飞船正样产品有很大不同。飞行试验的主要目的是通过实际发射来检验新研制的长征二号F运载火箭的性能和可靠性。为了不使火箭“空飞”，所以才搭载了这艘用初样产品改装的工程试验飞船，借试验火箭的机会也来验证一下飞船各主要系统、各舱段的设计质量，考核飞船的返回技术。通过这次发射试验，对飞船系统的设计与飞行进行了实战考核，包括飞船发射、逃逸塔抛落、飞船轨道飞行、与地面的联系、舱内的科学实验、返回变轨、落地精度等作了较全面的验证。另外，此次发射还对火箭与飞船的“三垂”组装、运输和发射模式、飞船与火箭的结合性能、飞船飞行过程中的全球测控等进行全面验证。可以说，通过神舟一号飞船的实际发射，


杨利伟

达到了考核火箭与飞船设计与可靠性，检验飞船发射与飞行全过程性能的双重目的。

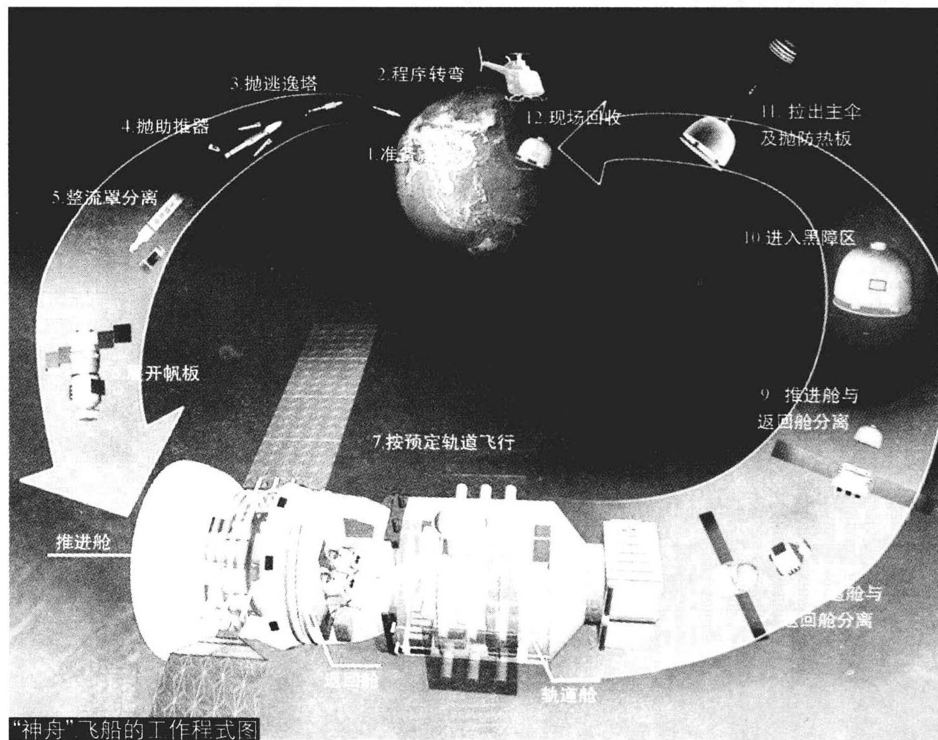


神舟一号入轨后，分布于中国大陆的地面测控站和身处太平洋、印度洋海域的远望一号、远望二号、远望三号和远望四号测量船接力式地对它进行跟踪测量，并把各项测量参数汇总到位于新建的北京指挥控制中心。大量的数据表明，神舟一号飞行正常。地面各观测站在飞船飞行期间，还对飞船内部的生命保障、姿态控制系统进行了充分的测试，结果也基本达到了设计要求。在绕地球正常飞行了 21 小时后，地面指挥中心向飞船发出了姿态调整、轨道舱分离、反推发动机启动等一系列指令。

21 日凌晨 3 时，神舟一号顺利完成了返回地球的准备工作，进入返回轨道。当返回舱距地面 140 千米时，推进舱与返回舱分离；降至 100 千米时，返回舱进行再入姿态调整；降至约 80 千米高时，飞船再入稠密大气层，进入黑障区，通信中断。距地面 40 千米时，脱离黑障区恢复通信。此时，着陆场地面雷达和测量站开始工作，跟踪、捕获目标，预报返回舱落点。降至距离地面 10 千米时，神舟一号返回舱按预定指令依次打开引导伞、减速伞和主伞，徐徐下落。在接近地面时，主伞自动抛

落，着陆缓冲发动机在距地面仅1.5米高时点火，使飞船进一步减速，最后以很小的速度安全降落。准确着陆时间是11月21日凌晨3时41分。至此，中国载人航天工程首次不载人轨道飞行试验获得圆满成功。

2001年1月10日，神舟二号飞船进行第二次不载人发射，1月16日飞船按预定计划返回地面。2002年3月25日，神舟三号飞船进行第三次不载人发射。经过近七天七夜的飞行，飞船于4月1日顺利返回。2002年12月30日，神舟四号飞船进行第四次发射，2003年1月5日安全返回。在四次不载人飞行之后，2003年10月15日，神舟五号载人飞船在酒泉卫星发射中心发射升空，把中国首位宇航员杨利伟准确送上预定轨道，实现了中华民族的千年飞天梦想。10月16日，飞船在太空中围绕地球飞行14圈后，顺利降落在内蒙古四子王旗北部草原的主着陆场上，宇航员安全返回。首次载人太空飞行的成功，标志着中国载人航天技术取得历史性的重大突破，成为世界上第三个独立实现载人航天的国家。



“神舟”飞船的工作程式图

知识链接

2003 年 10 月 15 日 9 时整，“神舟五号”载人飞船在酒泉卫星发射中心顺利升空，它搭载着中国首位航天员杨利伟围绕地球飞行 14 圈后安全返回。“神舟五号”飞船的飞行成功，是我国航天史上继第一颗人造地球卫星上天后的第二个里程碑，标志着中国成为世界上第三个能够独立发射载人飞船的国家。

2005 年 10 月 12 日 9 时，“神舟六号”载人飞船发射升空，将费俊龙、聂海胜两名航天员成功送入太空。飞船在太空飞行了 115 小时 32 分，两名航天员完成了预定的空间科学试验，于 10 月 17 日 4 时 33 分平安返回。“神舟六号”的成功发射标志着中国航天技术进入到多人多天太空飞行的新阶段。

2007 年 10 月 24 日 18 时 05 分，中国第一颗绕月探测卫星“嫦娥一号”在西昌卫星发射中心成功发射升空，11 月 5 日，进入环月轨道，成为我国首颗探月卫星。11 月 22 日，传回首张月面图像。“嫦娥一号”的成功发射标志着中国航天技术从低空探测迈向深空探测新阶段。

［Ｇｅｎｅｒａｌ　Ｉｎｆｏｒｍａｔｉｏｎ］
书名＝在科学的入口处　３０位航天科学家的贡献
作者＝李成智编著
页数＝２２４
ＳＳ号＝１２８５１０５２
出版日期＝２００８．０１

前言

目录